

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Morganna Justen Baptista

DE MOVIMENTO DOS ASTROS À QUARTA DIMENSÃO DO ESPAÇO:
UMA ABORDAGEM DIDÁTICA SOBRE O TEMPO AO LONGO DOS TEMPOS

Juiz de Fora

2017

Morganna Justen Baptista

DE MOVIMENTO DOS ASTROS À QUARTA DIMENSÃO DO ESPAÇO:
UMA ABORDAGEM DIDÁTICA SOBRE O TEMPO AO LONGO DOS TEMPOS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Polo 24 – Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Henrique da Silva Teixeira

Juiz de Fora

2017

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Baptista, Morganna Justen.

De movimento dos astros a quarta dimensão do espaço: uma abordagem didática sobre o tempo ao longo dos tempos / Morganna Justen Baptista. -- 2017.

193 f.

Orientador: Cláudio Henrique da Silva Teixeira

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.

1. Ensino de Física. 2. Tempo. 3. Astronomia. 4. Relatividade. I. Teixeira, Cláudio Henrique da Silva, orient. II. Título.

Morganna Justen Batista

DE MOVIMENTO DOS ASTROS À QUARTA DIMENSÃO DO ESPAÇO:
UMA ABORDAGEM DIDÁTICA SOBRE O TEMPO AO LONGO DOS
TEMPOS

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 24; Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 07 de agosto de 2017 por:


Prof. Dr. Claudio Henrique da Silva Teixeira – UFJF (Orientador)


Prof. Dr. Adriano Vargas Freitas – UFF


Prof. Dr. Sídney Percia da Penha – UFRJ

Agradecimentos

Entre estradas e madrugadas nasceu este trabalho. Fruto de uma construção coletiva, pode contar com opiniões de diversos amigos, que aqui imprimiram suas personalidades ao me influenciarem com ideias diversas. A busca por informações me propiciou trocas humanas muito saudáveis e posso afirmar, com toda certeza, que não sou mais quem eu era antes. Transformei-me em algo mais do que era e tenho acreditado, cada vez mais, no potencial do ser humano em ser infinito.

Tenho profunda gratidão aos que me auxiliaram nessa árdua caminhada, a começar pela minha família, especialmente à minha mãe, mulher letrada que revisou este trabalho por diversas vezes em horários e prazos bem impróprios. A meu namorado, pelo amor e pela compreensão. Aos amigos, pela força e pelos estímulos, conselhos e consolos. Ao meu orientador, pela paciente orientação e à banca, pelas excelentes contribuições. Duas pessoas merecem um agradecimento especial por terem participado nos bastidores de maneira fundamental. Gilberto de Freitas Souza, mestre em Relatividade, ajudou-me, com sua genialidade, a embasar e organizar o conteúdo proposto e Alessandra Santos Nascimento, doutora na área das Ciências Sociais, que me adotou academicamente, auxiliando-me a atribuir um aspecto mais humano à minha pesquisa. Por fim, agradeço a CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

RELÓGIO

Diante de coisa tão doída
conservemo-nos serenos.

Cada minuto de vida
nunca é mais, é sempre menos.

Ser é apenas uma face
do não ser, e não do ser.

Desde o instante em que se nasce
já se começa a morrer.

Cassiano Ricardo
De Um Dia Depois do Outro (1947)

RESUMO

O presente trabalho traz como temática o estudo do tempo, uma importante grandeza física, cujo significado, familiar a todos, pode adquirir um caráter peculiar no contexto da ciência moderna. Historicamente, as civilizações encontraram na medida precisa do tempo uma ponte para o desenvolvimento, e seus primeiros estudos em Astronomia eram destinados a esse propósito. Por essa razão, desenvolve-se, na primeira parte do trabalho, o significado do tempo sob o enfoque do movimento dos astros, associando-o aos ciclos astronômicos em suas contagens, de curto e longo prazo. O produto pedagógico aqui desenvolvido se organiza em forma de uma unidade de ensino potencialmente significativa, uma sequência didática que intenta auxiliar o professor que deseja apresentar assuntos de astronomia e/ou relatividade aos seus alunos. Trata-se de uma sequência didática que pode ser trabalhada em duas partes, abordando essas duas áreas da física, e que conta com atividades práticas e teóricas para serem aplicadas. A primeira parte intenta construir um modelo simplificado de Universo utilizando conceitos de Astronomia, mas mantendo como temática central a medida do tempo. A segunda parte do trabalho traz à tona a problemática da invariância na velocidade da luz, elucidando o conceito relativo que a simultaneidade adquire segundo a teoria da relatividade. No tecido espaço-tempo, o ritmo do tempo não mais obedece a uma única batida, mas irá fluir de acordo com a curvatura desse espaço. Com base no tema, o produto educacional foi desenvolvido e aplicado em sala de aula, a fim de testar sua potencialidade significativa. Os resultados dessa aplicação estão expostos neste trabalho. O objetivo deste material pedagógico é auxiliar o trabalho do professor que deseje levar tais assuntos para a sala de aula.

Palavras-chave: ensino de Física, tempo, Astronomia, relatividade.

ABSTRACT

The present work brings as a theme the study of time, an important physical quantity, whose meaning, familiar to all, can turn very peculiar in the context of modern science. Historically, civilizations have found a bridge to development in the precise measure of time, and their early studies in astronomy were intended for this purpose. For this reason, in the first part of this text, the meaning of time is developed under the focus of the movement of the celestial bodies, associating it with the astronomical cycles in their short and long term counts. We have developed here a pedagogical product which is organized in as a didactic sequence. That sequence attempts to assist teachers who wish to present astronomy and / or relativity issues to his students. The sequence can be worked, then, in two parts, and both areas of physics has practical and theoretical activities to be applied. The first part tries to construct a simplified model of universe using concepts of astronomy, but maintaining as central theme the measurement of the time. The second part of the work brings to light the problem of invariance in the speed of light, elucidating the relative concept that simultaneity acquires according to the theory of relativity. In the space-time, the rhythm of time no longer obeys a single beat, but will flow according to the curvature of that space. Based on the theme, the educational product we developed was applied in the classroom in order to test its significant potentiality. The results of this application are exposed in this work. The purpose of this teaching material is to assist the work of the teacher who wishes to bring such subjects into the classroom.

Keywords: Physics education, time, Astronomy, relativity

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1 REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	18
1.1 Ensino de Astronomia	18
1.2 Ensino de Relatividade.....	20
1.3 Aprendizagem significativa.....	21
1.4 Nossa proposta de Ensino	26
1.4.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)	27
CAPÍTULO 2 BREVE HISTÓRICO SOBRE A MEDIDA DO TEMPO	29
2.1 Calendários astronômicos	30
2.1.1. A evolução do nosso calendário.....	32
2.2 Instrumentos antigos de medição do tempo	34
2.2.1 Medida do tempo baseada no Movimento natural supralunar.....	34
2.2.2 Medida do tempo baseada no Movimento natural sublunar.....	35
2.2.3. Medida do tempo baseada no Movimento violento.....	36
2.3 Moderna medição do tempo	36
2.4. O tempo relativo	37
2.4.1 O tempo como a quarta coordenada do espaço	55
2.4.2 Passagem do tempo mais devagar sobre campos gravitacionais.....	56
CAPÍTULO 3 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	58
3.1 Aula 1: Investigação das concepções prévias sobre Universo, Terra, Sol e seus movimentos relativos.....	60
3.2 Aula 2: Modelo Aristotélico: geocentrismo	62
3.3 Aula 3: Constelações do Zodíaco	64
3.4 Aula 4: Atividade em dupla	67
3.5 Aula 5: Usando os astros para medir o tempo	69
3.6 Aula 6: Construção de um relógio de Sol que marca o tempo civil.....	71

3.7 Aula 7: A dança dos astros	74
3.8 Aula 8: O tempo a longo prazo: calendários astronômicos	82
3.9 Aula 9: outros relógios e a maçã	84
3.10 Aula 10: o tempo de transmissão de uma informação.....	88
3.11 Aula 11: O experimento de Michelson-Morley e a dilatação do tempo	89
3.12 Aula 12: o conceito relativo de simultaneidade e a contração do espaço.....	91
3.13 Aula 13: Curvaturas no espaço-tempo	94
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	96
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICE I PRODUTO EDUCACIONAL.....	120
APÊNDICE II CONSTELAÇÕES DO ZODÍACO PARA IMPRESSÃO.....	177
APÊNDICE III SUGESTÕES DE RESPOSTAS PARA AS ATIVIDADES DAS AULAS 10, 11, 12 E 13.....	189

Apresentação

Sou licenciada em Física pela Universidade Federal de Juiz de Fora desde 2014. No ano de 2015, fui convocada para assumir o cargo de professora substituta no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, em Barbacena, onde passei a atuar como professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico. Ainda no mesmo ano, fui convocada para assumir o cargo de professora efetiva na rede estadual do Rio de Janeiro e acabei por conciliar os dois empregos. Em minhas viagens, acabei adquirindo uma edição especial da revista *Cientific American História e Filosofia da Ciência*, que continha diversas matérias sobre o papel do tempo na busca por uma teoria unificada na Física.

Um grande problema com que a comunidade científica se depara hoje é o fato de que duas grandes áreas da Física, a Relatividade e a Mecânica Quântica, possuem inconsistências entre si, apesar de isoladamente apresentarem excelentes resultados experimentais, assim como impulsionarem o desenvolvimento de tecnologias. Um grande pivô das contradições que existem entre as duas ciências é o conceito de tempo, enquanto grandeza física. A descrição matemática da Mecânica Quântica não só utiliza o tempo como parâmetro, mas também necessita dele. Já na relatividade, o tempo é uma propriedade física do sistema, mas com atributos espaciais (ele é a quarta coordenada espacial). Uma das grandes metas da Física na atualidade é consolidar essas duas ciências, que consistiria em descrever o comportamento quântico do espaço-tempo. Na busca por uma teoria quântica da gravidade, muitos cientistas tem desenvolvido teorias e equações. Mas não só na Física Contemporânea essa grandeza tem papel fundamental, estando presente em inúmeras equações Físicas. Diante disso, considerei o tema suficientemente relevante para que dedicasse a ele minha dissertação de mestrado.

Fazendo um levantamento sobre os significados que o tempo adquiriu ao longo da História, ficou claro que a busca por precisão em sua medida impulsionou o desenvolvimento da Astronomia antiga e este poderia ser um bom caminho para abordar essa grandeza. Em vista da importância que esta grandeza adquire também no estudo da relatividade, esta também se apresentou como uma área profícua para o desenvolvimento do tema. No âmbito deste programa institucional, desenvolvemos produtos educacionais para auxiliar o trabalho de outros professores. Aplicamos esse produto e descrevemos os resultados para fins de pesquisa. O produto aqui desenvolvido tem aplicabilidade num contexto amplo, uma vez que aborda questões fundamentais da Física. Apresenta-se como uma forma de levar assuntos de Astronomia e de Física Moderna e Contemporânea para a sala de aula de maneira

simplificada, porém rica em conceitos teóricos. Outro aspecto a se destacar é a utilização do céu como laboratório gratuito. Assim sendo, apesar da complexidade do tema trabalhado, este material reúne as características necessárias para ser trabalhado também em escolas públicas, onde a situação de escassez de recursos é recorrente. Acreditamos que com materiais didáticos adequados e profissionais preparados é possível promover uma educação científica de qualidade. O presente trabalho intenta contribuir para esse propósito.

Introdução

O presente trabalho tem por objetivo propor um caminho para abordar assuntos de Física no Ensino Médio, desenvolvendo um produto educacional que irá escrever de forma minuciosa o conceito de tempo. Sendo essa uma das mais fundamentais grandezas físicas, o estudo desse conceito, nos permitirá abordar questões relacionadas à Astronomia e à Física Moderna e Contemporânea (FMC). O tempo, antes tido como conhecimento apriorístico, agora carece de definições precisas desde que seu caráter absoluto e universal foi posto em xeque pela teoria da relatividade.

Além disso, há uma razão especial para se falar especificamente do tempo: ele tem sido em todas as épocas assunto de interesse universal. O tempo está na nossa psicologia, nas nossas relações sociais e de trabalho, o tempo determina o fluxo contínuo da História e a história das nossas vidas. O tempo é tudo que temos e que certamente iremos perder. Ele corre inexoravelmente e distorcê-lo é um desejo constante: voltar ao tempo em que se era feliz, esticar o tempo na cama e encurtá-lo no dentista. O tempo se desdobra à medida que vivemos e é a nossa experiência que o compõe dentro de nós. E acreditamos que essa composição obedece a um tique-taque universal, que é igual para todos. E implacável. Tal qual o titã Chronos, figura mitológica representativa do tempo, devora seus filhos, o tempo há de nos consumir; há algo que nos incomoda no tempo: a efemeridade da vida. Dessa forma, para nós o tempo é uma riqueza, que se não gastarmos irá se perder com o anoitecer. Por isso ele é largamente citado na filosofia, na poesia e na arte. Jamais deixaremos de pensar nele e talvez tudo o que pensarmos sobre ele jamais será o suficiente.

Que é, pois, o tempo? Quem o poderá explicar facilmente e com brevidade? Quem poderá apreendê-lo, mesmo com o pensamento, para traduzir com palavras o seu conceito? Que realidade mais familiar e conhecida do que o tempo evocamos na nossa conversação? E quando falamos dele, sem dúvida compreendemos, e também compreendemos, quando ouvimos alguém falar dele. O que é, pois, o tempo? Se ninguém me pergunta, sei o que é; mas se quero explicá-lo a quem me pergunta, não sei. (AGOSTINHO, 1964, XI, 14, 17)

A forma filosófica e profunda como os questionamentos acerca do tempo toca as pessoas pode ser um fator contributivo para despertar nelas o interesse por ciência, especialmente através do ensinamento da maneira como a Física Moderna descreve o Universo. Além disso, o último século de descobertas científicas não deve ter seu conhecimento negligenciado na esfera da educação básica. Isso é o que indicam os

Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), que determinam que haja no Ensino Médio a “aprendizagem de concepções científicas atualizadas do mundo físico e natural” (PCNEM - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, 2000). Diante da demanda por uma geração de cidadãos mais críticos com relação ao mundo contemporâneo, o papel da educação em ciência na sociedade tecnológica deve ser revisto e atualizado.

E quem se pretende formar com o ensino da Física? Partimos da premissa de que no ensino médio não se pretende formar físicos. O ensino dessa disciplina destina-se principalmente àqueles que não serão físicos e terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento. Há de se reconhecer, então, dois aspectos do ensino da Física na escola: a Física como cultura e como possibilidade de compreensão do mundo (BRASIL,2006, p. 53)

O estudo do tempo em seus significados permite uma construção histórica do conhecimento científico, pois para compreendê-lo é preciso enxergá-lo sob o ponto de vista clássico, absoluto, em cuja percepção e definição a Astronomia antiga teve papel fundamental. É preciso também compreender que, com o desenvolvimento da ciência no último século, o tempo, enquanto grandeza física, revestiu-se de um novo paradigma, assumindo caráter relativo, dependente do estado de movimento daquilo que se observa. Essa perspectiva inevitavelmente histórica da qual o tema se reveste está em consonância com as habilidades e competências que se pretende desenvolver, segundo Os PCNEM (2006), que visam capacitar o educando a:

[...] compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade. (BRASIL,2006, p. 95)

Um levantamento bibliográfico dos materiais didáticos disponíveis no mercado aponta uma carência na abordagem da natureza do tempo. Ao analisar livros didáticos de Física para o Ensino Médio, Ghisolfi (2008) ressalta que, das obras analisadas, apenas 10% fazem um real aprofundamento sobre o significado e a natureza do tempo. Sendo o tempo uma grandeza física, as obras que abordam a mecânica o definem, em geral, sob o enfoque das padronizações do tempo e da definição de segundo, unidade adotada pelo Sistema Internacional de medidas. O conceito de intervalo é definido, normalmente, em analogia à reta real, onde os pontos representam instantes e a distância entre eles é o intervalo. O tempo é muito associado ao movimento, no contexto de taxa de variação. Destacando-se algumas boas definições e experimentações relacionadas ao tema presentes em materiais didáticos,

apontam-se: medição do tempo com um pêndulo; comparação da ordem de grandeza da duração de fenômenos; movimento concebido como uma relação entre tempo, espaço e matéria; segundo definido pela velocidade da luz; entre outras. Nas poucas obras, dentre as analisadas por Ghisolfi (2008), em que há aprofundamento do tema, observa-se uma ênfase na discussão acerca da seta do tempo e a irreversibilidade de alguns fenômenos, (GHISOLFI, 2008). Com relação à abordagem dos ciclos astronômicos, destaca-se Oliveira (2010), cuja coleção para o Ensino Médio, que foi, inclusive, distribuída em diversas escolas públicas, aborda temas de Astronomia e o tempo sob o ponto de vista histórico. Trabalha o tempo, ainda, de maneira filosófica, associando-o ao movimento e definindo-o como grandeza física.

Em nível superior, os materiais tendem a trabalhar melhor o tema quando no contexto da relatividade, uma vez que este ramo da física vai contra o conceito intuitivo que se tem de tempo, há um esforço maior dos autores em aprofundar o assunto. Ainda assim, na análise de algumas obras desse tipo, Ghisolfi (2008), destaca que apenas a metade delas se aprofunda no conceito de tempo, desconstruindo sua concepção clássica e, ainda assim, algumas o fazem de forma incipiente. No contexto da mecânica clássica, o tempo é definido de maneira bastante técnica, em análises dimensionais e tabelas de medidas para diferentes sistemas e referências. Ainda nesse contexto, destaca-se uma apostila que se destina à Educação Superior a Distância (CAMPOS, 2009), de “Introdução às ciências físicas”, que esclarece e esmiuça os conceitos de espaço e tempo, baseando-se, para isso, na Astronomia. Esse material aponta as origens da Astronomia como uma forma do ser humano se localizar no tempo e no espaço, associa a medida do tempo aos ciclos astronômicos e traz, ainda, roteiros para a elaboração de relógios estelar e solar.

Em 2010, os pesquisadores Gustavo Iachel e Roberto Nardi publicaram, na *Revista Ensaio*, um artigo intitulado “Algumas tendências das publicações relacionadas à Astronomia em periódicos brasileiros de Ensino de Física nas últimas décadas”, no qual faziam uma análise sobre as publicações relacionadas à Astronomia em dois periódicos: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* e *Revista Brasileira de Ensino de Física*, nas duas últimas décadas. Foram apreciados alguns fatores, tais como frequência das publicações em Astronomia, perfil acadêmico dos pesquisadores, abordagens utilizadas e objetos de estudo mais comumente pesquisados. O critério de escolha desses periódicos foi o fato de estarem consolidados no cenário nacional devido ao seu tempo de existência.

A apreciação da frequência de publicação teve por objetivo validar a hipótese levantada pelos autores de que o número de publicações relacionadas à Astronomia é maior a

cada ano. Observou que na década de 1990 (1990-1999) foram publicados 22 artigos do gênero, ao passo que, no período de 2000 a 2008, esse número subiu para 36. A inferência dos autores foi de que a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998) em 1998 pode ter incentivado tais pesquisas, uma vez estes que apresentam uma série de conteúdos relacionados à Astronomia.

Ao analisar o perfil acadêmico dos pesquisadores, foram identificados 84 autores, cujas formações acadêmicas foram consultadas. Inferiu-se que pesquisadores na área de Educação e Ensino de Ciências ampliaram suas colaborações após o ano 2000, ao passo que autores das áreas de Astronomia, Astrofísica e Física colaboraram desde os primeiros artigos analisados. O aumento nessas contribuições provavelmente se deve à consolidação gradativa da pesquisa em Educação em Astronomia.

No que tange à abordagem dos artigos, destacam-se: desenvolvimento histórico do conteúdo relacionado à Astronomia; levantamento de concepções alternativas; abordagem experimental; aprofundamento sobre conteúdos relacionados à Astronomia; análise de livros didáticos e formação de professores. Inferiu-se dessa análise que as abordagens teóricas são as mais abundantes em relação a outros tipos de abordagem.

Na análise dos conteúdos, buscou-se investigar se os pesquisadores privilegiaram certos conteúdos, com o objetivo de inferir se há temas ainda pouco explorados. Destacam-se entre esses temas as marés, as estações do ano, o uso do gnômon e o estudo dos corpos menores do Sistema Solar. Iachel e Nardi (2010) destacam ainda que:

[...] é possível sugerir conteúdos relacionados à Astronomia que não foram identificados nesses periódicos: a criação dos calendários antigos, que foram baseados nos períodos solar ou lunar; a exploração espacial; noções do movimento aparente da esfera celeste; evolução da marcação do tempo, com a construção de relógios solares. (IACHEL; NARD, p.9, 2010)

Nosso trabalho propõe um caminho pedagógico para a abordagem do tempo estruturando-se em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a fundamentação teórica utilizada para se desenvolver o material pedagógico proposto. A teoria de aprendizagem utilizada como embasamento é a Teoria da Aprendizagem significativa de David Ausubel. Baseando-se nessa teoria, é proposta uma maneira de se fazer a transposição didática dos conteúdos e tornar a aprendizagem significativa. Para isso, desenvolve-se um tipo de sequência de ensino-aprendizagem chamada Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), através da qual o tempo é abordado como tema central. Uma vez que essa abordagem utiliza-se de conhecimentos acerca da Astronomia e da Relatividade, há justificativas sobre a

importância em se trabalhar esses temas do ponto de vista pedagógico. O segundo capítulo consiste de um breve histórico sobre a medida do tempo, sobre a necessidade de se contar o tempo para o desenvolvimento das civilizações e sobre a maneira como alguns povos fizeram isso. Para isso, serão exemplificados alguns calendários antigos, a fim de mostrar que se baseavam em ciclos astronômicos. Mostra-se, em seguida, como o antigo calendário romano evoluiu até se tornar nosso atual calendário gregoriano e estabelecer-se em grande parte do ocidente. Há também uma explicação sobre a medida do tempo a curto prazo, com a descrição do funcionamento dos principais tipos de relógio.

Com a evolução dos conceitos de tempo e espaço provenientes da teoria da relatividade, abordaremos também o tempo relativo. Reconceitualizando a simultaneidade, chega-se às ideias de dilatação do tempo e contração do espaço. Dessa forma, esse capítulo mostra como o estado de movimento de um observador altera as percepções do que ocorre com o espaço e o tempo daquilo que se observa, problemática que conduz ao novo conceito de tecido espaço-tempo. Aprofundando o caso da relatividade, aborda-se, de maneira conceitual e simplificada, o que acontece com a passagem do tempo na presença de objetos com massa. O terceiro capítulo traz uma descrição do planejamento da sequência didática elaborada e sobre sua inserção em sala de aula. Versa sobre o que foi abordado, para qual público, de que maneira, e em que contexto. O quarto capítulo é dedicado, então, à discussão dos resultados obtidos com a aplicação da sequência. No quinto capítulo, encontram-se as considerações finais. O apêndice I contém a unidade de ensino potencialmente significativa intitulada: “O tempo ao longo dos tempos”, a sequência didática desenvolvida no âmbito deste trabalho, que elucida a forma como o professor pode levar esses conteúdos para a sala de aula, como um guia passo-a-passo da abordagem dos conteúdos que se pretende enfatizar, da forma como a avaliar o aluno e dos resultados esperados ao se desenvolver desta forma o tema proposto.

Capítulo 1

Referenciais teóricos

Este capítulo aborda o que vamos ensinar e como vamos ensinar. No âmbito de nossa pesquisa, a Astronomia se apresenta como o terreno ideal para se trabalhar o conceito de tempo: o suceder dos dias e das noites deve-se à rotação da Terra, a divisão do tempo em horas foi possível com relógios estelares e de Sol. O calendário com o ano de 365 dias é determinado pela translação da Terra, e seus meses seguiam originalmente o ciclo sinódico da Lua. Até mesmo os dias da semana foram nomeados em homenagem a sete astros conhecidos à época. O estudo do céu embasa o significado de medidas de tempo: os primeiros conhecimentos em Astronomia foram construídos justamente com o propósito de se medir a passagem do tempo. Além disso, do estudo de fenômenos relacionados a objetos celestes erigiu-se a teoria da relatividade geral, de que vamos tratar aqui, e que foi comprovada experimentalmente também através de fenômenos astronômicos (BRETONES, 2006). Com o intuito de explorar mais profundamente o tema, trazendo-o à luz da ciência contemporânea, este será abordado também sob a ótica da teoria da relatividade. Por serem tópicos que envolvem diretamente a proposta de ensino, serão apresentadas justificativas para abordar temas como Astronomia e Relatividade no Ensino Médio.

A fim de tornar o processo ensino-aprendizagem consistente, será utilizada uma teoria de ensino baseada na psicologia da cognição desenvolvida por David Ausubel, a teoria da aprendizagem significativa. Com enfoque no processo cognitivo, esta teoria toma como fator mais importante à aprendizagem a estrutura mental do aprendiz, assim como sua disposição em adquirir novos conhecimentos. Em seguida apresentaremos a nossa proposta de desenvolvimento do produto educacional, norteadas por Marco Antônio Moreira, que elaborou um tipo de sequência didática apoiada nos conceitos de David Ausubel, chamada Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

1.1 Ensino de Astronomia

A Astronomia é a mais antiga das ciências e seu desenvolvimento fez-se fundamental às civilizações antigas para que estas se situassem no tempo e no espaço. O desenvolvimento de calendários foi fator essencial para o progresso dessas civilizações e a Astronomia antiga tinha por propósito principal a medida do tempo, (DUNCAN, 1999). A Astronomia é, portanto, assunto indispensável para quem quer compreender o significado desta grandeza, que os antigos filósofos caracterizaram como sendo o movimento dos astros e que hoje a

ciência compreende como a quarta dimensão do espaço. A inserção de temas de Astronomia no Ensino Médio faz-se vantajosa por diversos aspectos, como ressalta Langhi (2009), destacado suas particularidades: primeiramente, o céu é um laboratório gratuito que pode ser observado em qualquer lugar. Há tempos vem sendo objeto de observação e seus estudiosos participaram ativamente da construção histórica do conhecimento humano, associado a aspectos de ordem social, política, cultural e tecnológica. A compreensão dos fenômenos para além do céu desafiam a imaginação e, por ser uma ciência profundamente visual, seu estudo pode se favorecido com o uso de instrumentos simples de observação, que possam ser facilmente construídos e utilizados como elementos didáticos. Além do elevado potencial estético ligado à observação do céu, sua compreensão auxilia o ser humano a se situar no Universo e perceber sua ordem de grandeza. Ademais, a forma inexorável como os conceitos pertinentes à Astronomia participam de nossas vidas confere-lhe um certo grau “popularizável” e pode contribuir para a formação de uma cultura científica.

No movimento dos astros está a explicação para fenômenos comuns do cotidiano, como o suceder dos dias e das noites, as fases da Lua, as estações do ano (OLIVEIRA, 1997). Por isso, já os antigos filósofos ocupavam-se bastante em tentar explicá-lo. O desenvolvimento da Astronomia está profundamente relacionado à História e Filosofia da Ciência, e diversas contribuições à sociedade estão ligadas ao seu desenvolvimento (PERCY, 1996). O caráter interdisciplinar da Astronomia é extenso, o que enriquece ainda mais seu atributo didático. Além disso, as pessoas tendem a se interessar por questões do Universo, mesmo que, às vezes, como forma filosófica de se situar nesse em busca de sua própria identidade e, por isso, a abordagem de tópicos através de conceitos da Astronomia pode auxiliar a despertar nos jovens o interesse por ciência. Segundo Caniato (1974) *apud* Teixeira (2013), o uso dos conceitos em Astronomia como objeto de ensino-aprendizagem se justifica, essencialmente, porque:

1. A astronomia, pela diversidade dos problemas que propõe e dos meios que utiliza, oferece o ensejo de contato com atividades e desenvolvimento de habilidades úteis em todos os ramos do saber e do cotidiano da ciência.
2. A astronomia oferece ao educando, como nenhum outro ramo da ciência, a oportunidade de uma visão global do desenvolvimento do conhecimento humano em relação ao Universo que o cerca.
3. A astronomia oferece grande ensejo para que o homem perceba sua pequenez diante do Universo e ao mesmo tempo perceba como pode penetrá-lo com sua inteligência.
4. O estudo do céu sempre se tem mostrado de grande efeito motivador, como também dá ao educando a ocasião de sentir um grande prazer estético

ligado à ciência: o prazer de entender um pouco do Universo em que vivemos.

Ressalta-se que a Astronomia é um terreno extremamente fértil para trabalhar diversos temas da Física, pois muitas de suas teorias foram comprovadas através do estudo de fenômenos astronômicos, como é o caso da Relatividade, Bretones, (2006). Além disso, o estudo formal da Astronomia contribui para desmistificar alguns equívocos de concepções alternativas acerca do assunto, Langhi (2009).

É fato que os conteúdos de Astronomia estão presentes no ensino há bastante tempo (BRETONES, 2006), porém, pela Lei de Diretrizes e Bases, LDB de 1996, em vigor, os Parâmetros Curriculares Nacionais, PCN, preveem que o ensino desses temas seja realizado no Ensino Fundamental, sob o eixo temático “Terra e Universo”, (BRASIL, 1998). E isso esbarra em uma problemática, que é o fato de os professores que ministram conteúdos para esse segmento do ensino raramente terem formação em Física. São, em sua maioria, professores de Biologia ministrando conteúdos de Ciências. (BRETONES, 2006).

1.2 Ensino de Relatividade

O século XX foi marcado pelo surgimento da Teoria da Relatividade, que mudou completamente o modo de se pensar a ciência ao mostrar que tempo e espaço não são absolutos. “[...] assim como as sinfonias de Beethoven e os quadros de Monet, a Teoria da Relatividade é um dos marcos culturais mais significativos do Ocidente” (SCHWARTZ, 1992, p. 19)

O rosto de Albert Einstein é um dos mais conhecidos do mundo, no entanto, poucos conhecem suas teorias. Criador da Teoria da Relatividade Geral, o gênio alemão teve no céu luminoso do Brasil a chance de comprová-la, durante um eclipse na cidade de Sobral, CE. No entanto, esse e outros “recentes” acontecimentos da História da Ciência têm encontrado dificuldade para serem incorporados ao currículo básico brasileiro. A Teoria da Relatividade foi desenvolvida no ano de 1905 e sua confirmação promoveu uma revolução na Física com relação à qual o nosso padrão nacional de ensino ainda se encontra descontextualizado. O último século de descobertas vem sendo negligenciado nas salas de aula (CAVALCANTI, 1999). Em defesa da inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea, FMC, no currículo básico do Ensino Médio, Terrazzan (1994, p.34), alega que:

[...] conteúdos de Física Moderna e Contemporânea correspondem a uma necessidade vital de nossos currículos de Física escolar. A própria importância dos temas de Física Moderna e Contemporânea na constituição

da Física, enquanto área do conhecimento científico, exige sua inclusão nos currículos escolares.

Alguns Estados brasileiros, como Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, já incluíram esse tema em seu currículo básico por entenderem que a compreensão acerca do desenvolvimento da ciência moderna é um fator importante para promover a participação crítica e consciente na sociedade.

Estudar problemas conceituais existentes na Física Moderna e Contemporânea envolve os estudantes nos desafios filosóficos de alguns aspectos da Física. O fato de que nem tudo, no mundo científico, é sabido ou entendido, modifica a idéia que os estudantes em geral têm de Física – um assunto que é uma “massa” de conhecimentos e fatos, um livro fechado. Ou são mostrados aos alunos os desafios a serem enfrentados pela Física no futuro, ou eles não serão encorajados a seguirem carreiras científicas (OSTERMANN, 1999, p 12).

Segundo Mortimer (1994), o estudo de temas mais avançados em ciência tem o papel fundamental no desenvolvimento de uma cultura científica, e sob essa perspectiva de ensino pode ser associado um processo de ampliação da cultura do aprendiz:

Aprender ciências está muito mais relacionado a se entrar em um mundo que é ontologicamente e epistemologicamente diferente do mundo cotidiano. Esse processo de enculturação pode ocorrer, também, quando se tem que aprender teorias mais avançadas. (MORTIMER, 1994, p 31)

Dessa forma, o alto nível de abstração exigido no estudo da relatividade contribui para a formação do pensar científico. A quebra de paradigmas sólidos da ciência, como tempo e espaço absolutos, representa uma transformação profunda na forma de se pensar o mundo.

1.3 Aprendizagem significativa

Após analisar os tópicos, nossa proposta de como ensinar irá tomar por base a teoria da *aprendizagem significativa*, elaborada por David Ausubel, que é uma teoria baseada na psicologia da cognição, cujo enfoque está no processo de aquisição, transformação, armazenamento e uso do conhecimento na estrutura mental do indivíduo (MOREIRA, 1982). Nesse processo cognitivo, os objetos e símbolos adquirem significados. À medida que o indivíduo se apropria de novos significados, estes interagem com os anteriores, ancorando-se neles, e podendo também transformá-los. Essa teia composta de todos os significados, na qual uns estão subordinados a outros segundo uma hierarquia, pode ser entendida como sendo a estrutura cognitiva do indivíduo. Dessa forma, segundo a perspectiva ausubeliana, *apud* Moreira (2011, p.161):

[...] o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. *Estrutura cognitiva* significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações da experiência sensoriais do indivíduo (grifo do autor).

Para que haja aprendizagem significativa, a habilidade de organização de informações deve ser desenvolvida, de forma que os novos materiais possam se integrar aos pertencentes à estrutura cognitiva, através de uma associação não-arbitrária. Os conceitos relevantes e inclusivos presentes na estrutura mental do sujeito possibilitarão a atribuição de significado lógico ao novo material, servindo-lhes de ancoradouro. Chama-se *subsunção* todo conhecimento existente na estrutura cognitiva que sirva de ancoragem a novos conceitos e ideias. Nesse contexto, portanto, o fator mais relevante à aprendizagem é o que o aprendiz já sabe e, ainda, sua disposição em aprender novos conteúdos (AUSUBEL, 1980). Nesse contexto, a teoria parece se adequar ao estudo da Astronomia, que será o foco principal de nossos estudos. Isso, pois, como mostrado anteriormente, a Astronomia participa inexoravelmente de nossas vidas, de forma que os fenômenos observados cotidianamente já possam servir de ancoradouros aos conceitos iniciais, sendo, portanto, um bom ponto de partida. Outro ponto relevante é o fato de o estudo em Astronomia ter efeito motivador, por ser um tema que desperta com frequência o interesse de pessoas não relacionadas a áreas da ciência (BRETONES, 2006).

Em antítese à aprendizagem significativa, está a *aprendizagem mecânica*, que se dá com pouca ou nenhuma associação lógica a qualquer coisa que se saiba previamente. Essa informação não irá se relacionar com conceitos existentes na estrutura mental, mas sim arbitrariamente. O conhecimento assim adquirido não irá se ligar a conceitos subsunções particulares. Segundo Ausubel *et al.* (1980, p.23), a aprendizagem mecânica pode ser caracterizada por:

[...] associações puramente arbitrárias, como na associação de pares, quebra-cabeça, labirinto, ou aprendizagem de séries e quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também (independentemente do potencial significativo contido na tarefa) se o aluno denota uma estratégia apenas para internalizá-la de uma forma arbitrária, literal (por exemplo, como uma série arbitrária de palavras).

A aprendizagem mecânica pode, no entanto, ser o ponto de partida para a aprendizagem significativa, especialmente se o aprendiz dispuser de pouca ou nenhuma informação sobre o tema estudado (LEMOS, 2011). Nesse caso, as informações iniciais

difícilmente irão se relacionar logicamente com os conceitos existentes na estrutura cognitiva do sujeito. No entanto, dando-se continuidade à aprendizagem deste conteúdo, novas informações poderão se relacionar àquelas adquiridas mecanicamente e, assim, transformá-las também, atribuindo-lhes um novo significado lógico, relacionado à nova informação. Ou seja, é possível que um conhecimento adquirido mecanicamente torne-se um conceito subsunçor para a aquisição de um novo conhecimento e, ainda, que este subsunçor adquirido mecanicamente se torne significativo na estrutura mental do sujeito através da interação com novas informações.

Quando a estrutura cognitiva do indivíduo não possui subsunçores diferenciados e estáveis para ancorar (subsumir) a nova informação, o indivíduo a armazenará de forma literal e não substantiva, ou seja, realizará aprendizagem mecânica. O conhecimento aprendido mecanicamente pode ir paulatinamente sendo relacionado com novas ideias e reorganizado na estrutura cognitiva caso o sujeito continue interagindo com o novo conhecimento. É essa interação dinâmica que caracteriza a não dicotomia entre essas duas formas de aprendizagem [...] (LEMOS, 2011, p. 32).

Outra forma de aquisição de subsunçores acerca de um tema completamente novo é o que acontece, por exemplo, com as crianças pequenas, a *formação de conceitos*, Moreira (1982). Essa ocorre quando, a partir da observação e/ou experiência concreta, o indivíduo estabelece ideias genéricas espontaneamente, em um processo de abstração. Em adolescentes e adultos escolarizados esse processo é bem menos comum, pois estes, tendo tido contato com uma gama muito maior de conceitos, caracteristicamente irão aprender conteúdos novos através da *assimilação de conceitos*. Neste processo, as ideias relevantes já estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz interagem com o conteúdo novo, auxiliando na atribuição de significado a esse conteúdo, através de atributos criteriosais. (AUSUBEL, 2006) Segundo Moreira (1982, p. 32):

Uma vez adquiridos, os conceitos servem a muitos propósitos da função cognitiva. No nível mais simples de utilização, eles estão obviamente envolvidos na *categorização perceptual* das próximas experiências sensoriais.

Neste contexto, é recomendável ao professor que pretenda inserir um assunto novo utilizar-se de *organizadores prévios*, Ausubel (2000). Esses servirão de ideias-âncora para a aprendizagem e, portanto, ajudarão a preparar a estrutura cognitiva do aprendiz a fim de facilitar a aprendizagem significativa, atuando como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 1942). Para Ausubel, (2000, p. 12),

[...] a fundamentação lógica para a utilização dos organizadores baseia-se essencialmente em:

1. A importância de se possuírem ideias relevantes, ou apropriadas, estabelecidas, *já* disponíveis na estrutura cognitiva, para fazer com que as novas ideias *logicamente* significativas se tornem *potencialmente* significativas e as novas ideias *potencialmente* significativas se tornarem *realmente* significativas (i.e., possuírem novos significados), bem como fornecer-lhes uma ancoragem estável.
2. As vantagens de se utilizarem as ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina na estrutura cognitiva como ideias ancoradas ou subsunçores, alteradas de forma adequada para uma maior particularidade de relevância para o material de instrução. Devido à maior aptidão e especificidade da relevância das mesmas, também usufruem de uma maior estabilidade, poder de explicação e capacidade integradora inerentes.
3. O facto de os próprios organizadores tentarem identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva (e estarem explicitamente relacionados com esta) e indicar, de modo explícito, a relevância quer do conteúdo existente, quer deles próprios para o novo material de aprendizagem.

A teoria dá ênfase à estrutura mental do aluno e, nesse contexto, considera que o fator mais importante no processo cognitivo de aquisição do conhecimento é aquilo que o aluno já sabe. Como nosso estudo se iniciará no campo da Astronomia, é esperado que os alunos já possuam concepções prévias sobre o assunto, já que este participa de nossas vidas de forma inelutável, seja no correr do Sol no céu, do arrebol ao crepúsculo, nas estações do ano, ou nos diferentes formatos da Lua. É diferente de se falar, por exemplo, em física quântica, um assunto que não está relacionado ao cotidiano do cidadão comum. Considera-se, então, que o aluno pode ter muitas concepções prévias acerca desse assunto, e por isso, uma teoria que as valorize, faz-se conveniente para tratar de algo que está tão presente no imaginário popular, como o Universo.

Para que a aprendizagem significativa ocorra, é necessário que haja um material potencialmente significativo disponível para o aprendiz. Para isso, deve-se assegurar que o aprendiz disponha de informações relevantes com as quais ele possa relacionar não-arbitrariamente o conteúdo desse material. Ainda assim, para que esse material adquira um significado ao se incorporar à estrutura mental do aprendiz, é necessário que o aprendiz se disponha a relacionar as novas ideias à sua estrutura mental, ainda que essa venha a ser transformada pela nova ideia. Dessa forma, a intenção do aprendiz é tão importante quanto qualquer estratégia didática utilizada, pois qualquer material potencialmente significativo só irá representar algo verdadeiramente significativo para o aprendiz se esse bem quiser atribuir-lhe um significado. (MOREIRA, MASINI, 2008)

Para melhor explicar a forma como o conhecimento se organiza na estrutura cognitiva, considera-se o princípio da assimilação. Nesse processo, chamado *subsunção*, as ideias novas adquirem significados ao se relacionarem às ideias-âncora e essa relação também é incorporada à estrutura cognitiva. Com o passar do tempo, essas ideias tornam-se indissociáveis na estrutura cognitiva, processo conhecido como *assimilação obliteradora*, que seria um segundo estágio de subsunção. A subsunção, como aqui descrita, é uma forma de aprendizagem subordinada, que pode ser *derivativa*, quando a nova informação é compreendida como um exemplo ou ilustração de algum conceito ou proposição mais geral pertencente à estrutura cognitiva, ou *correlativa*, se o material aprendido complementa, elabora ou modifica conhecimentos previamente adquiridos. (MOREIRA, 1982)

À medida que ocorre a aprendizagem significativa, além da elaboração e transformação dos conceitos subsunçores, pode surgir também uma ligação entre conceitos antes não relacionados ao se perceber que esses, por exemplo, podem estar subordinados a um conceito mais amplo. Esse processo é chamado de *aprendizagem superordenada*. (AUSUBEL, 2003)

Baseado na hipótese de que para o ser humano é mais fácil diferenciar as partes a partir de um todo do que construir um todo através das partes e que, ainda, a estrutura mental se baseia em uma hierarquia onde ideias mais inclusivas englobam outras, Ausubel propõe que um processo de *diferenciação progressiva* seja incluído no planejamento de disciplinas. (MOREIRA, 1982). De acordo com essa hipótese, o desenvolvimento de conceitos é facilitado quando se parte de um conceito mais inclusivo, que deve ser progressivamente diferenciado em suas minúcias e particularidades. No entanto, os conceitos não devem ser somente diferenciados, deve-se, também, explorar a relação entre eles, buscando desfazer aparentes contradições e estabelecendo semelhanças e diferenças significativas. Esse processo é chamado de *reconciliação integrativa*, e contrapõe-se ao usual método com que os livros didáticos costumam seccionar os conteúdos em capítulos isolados. Dessa forma, o indivíduo se apropria dos conceitos, que ficam consolidados em sua estrutura cognitiva. (AUSUBEL, 2003)

A avaliação da aprendizagem consiste em verificar se essa foi, de fato, significativa. Para tal, deve-se evitar perguntas que possuam respostas que possam ser mecanicamente memorizadas. Não se deve abordar, ainda, “problemas típicos”, “exemplos batidos”, ou qualquer material que facilite por parte do aluno a “simulação da aprendizagem significativa” através de respostas pré-moldadas. É interessante que os testes sejam apresentados sob um

enfoque inovador, em um contexto desconhecido ou de alguma forma diverso ao anteriormente trabalhado. O ideal é que a situação seja apresentada de forma que a ausência de familiaridade exija a transformação máxima do conteúdo aprendido na elaboração da resposta, (MOREIRA, 1982).

1.4 Nossa proposta de Ensino

O referencial teórico utilizado na abordagem didática é a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que define como significativa uma aprendizagem que relacione os novos conceitos de maneira não-arbitrária com a estrutura cognitiva do aprendiz. Com base nesse mesmo referencial, Moreira (2016) desenvolveu um tipo de sequência didática, designado por Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), modelo do qual nos utilizamos para desenvolver nosso produto educacional. Uma UEPS é uma sequência de ensino-aprendizagem que visa a promover a aprendizagem significativa dos estudantes acerca de um assunto ou tema abordado. Sua estrutura se baseia no conceito de aprendizagem significativa de Ausubel, que tem por base o conhecimento prévio do aluno como fator mais importante na aprendizagem. Por isso, para Ausubel (2003, p.73), a natureza do material deve ser:

[...] suficientemente não arbitrária (i.e., não aleatória, plausível, sensível), de forma a poder relacionar-se, numa base não arbitrária e não literal, a ideias relevantes correspondentes que se situam no âmbito daquilo que os seres humanos são capazes de aprender (a ideias relevantes correspondentes que, pelo menos, *alguns* seres humanos são capazes de apreender se tiverem oportunidade). Esse aspecto da própria tarefa de aprendizagem, que determina se o material é ou não potencialmente significativo, pode denominar-se significação *lógica*. (grifo do autor).

Dessa forma, a sequência será munida de situações problema através das quais virão à tona as concepções prévias dos alunos. Essas ideias poderão ser ressignificadas em um novo contexto, o científico, para a aquisição de subsunçores, conhecimentos que servirão de ancoradouro para os novos conceitos que serão ensinados.

O produto educacional que acompanha esta dissertação é uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, intitulada “O TEMPO AO LONGO DOS TEMPOS”. Trata-se de uma sequência didática que tem como objetivo final promover nos alunos uma reconciliação integrativa entre as representações e significados que o tempo adquiriu ao longo dos tempos, com ênfase para o seu aspecto enquanto grandeza física, transformando o significado lógico de tempo em significado psicológico para o sujeito. Ao fim do estudo,

espera-se que o aluno compreenda que, apesar de o tempo ser relativo, sua “aparência” absoluta é um caso especial em que os referenciais (observadores) se movem com pequenas velocidades (muito menores que a da luz).

1.4.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

O produto educacional será desenvolvido em formato de UEPS, que consiste numa sequência de ensino-aprendizagem elaborada com base em teorias da aprendizagem, em especial a teoria da aprendizagem significativa. Uma vez que os significados são adquiridos e formados na estrutura mental do indivíduo, não se pode dizer do material que este seja significativo. Ele será potencialmente significativo desde que possibilite a aquisição de significados por parte do aprendiz através de seu uso ou aplicação. Só há ensino quando há aprendizagem, portanto, a sequência didática tornar-se-á significativa através da tríade professor, material e aluno, quando este último manifestar intenção em aprender e houver, ao fim do processo, evidências de que a aprendizagem significativa foi exitosa. A sequência deve ser desenvolvida de forma a evitar a aprendizagem puramente mecânica.

A montagem de uma UEPS inicia-se definindo-se o tópico a ser abordado. Pode-se elaborar um material de apoio para a aplicação da UEPS que contenha o conteúdo a ser trabalhado. Isso será útil especialmente em casos de assuntos usualmente não abordados no Ensino Médio ou nos livros didáticos (MOREIRA, 2016). É importante desenvolver organizadores prévios ao se introduzir qualquer assunto. Isso pode ser feito utilizando-se situações-problema, que exigirão dos alunos que construam modelos mentais para tentar solucionar o problema. É importante que, nessa fase inicial da aplicação da sequência, os aprendizes tenham oportunidade de externalizar seus conhecimentos prévios, pois o professor irá basear os próximos passos da sequência nos subsunçores de que os alunos dispõem previamente. Dessa forma, será possível introduzir os subsunçores necessários, assim como desfazer pequenos equívocos conceituais. Daí, parte-se de um modelo explicativo mais generalizado, para então introduzir-se o nível de particularidades necessárias. A diferenciação progressiva deve ser feita, então, dando-se detalhamento aos conceitos, classificando-os em subgrupos, estabelecendo-se hierarquias entre as partes, etc. Após esse aprofundamento no nível de complexidade dos detalhes do conteúdo em questão, devem-se unir novamente os conceitos, buscando integrá-los inequivocamente, diferenciando claramente significados e estabelecendo suas semelhanças, desfazendo, assim, todos os equívocos que restarem.

A avaliação da aprendizagem deve ocorrer ao longo da aplicação, registrando-se tudo que servir de evidência de que o estudante está aprendendo. O desempenho do aprendiz pode ser aferido por avaliações somativas juntamente a todas as outras formativas (situações, tarefas). Em busca do desenvolvimento do pensar crítico no aprendiz, os materiais usados devem ser diversificados, assim como os questionamentos profundamente valorizados. Ainda que atividades individuais sejam necessárias em alguns momentos, é importante também priorizar atividades colaborativas a fim de que a troca de informações entre os estudantes contribua para uma construção coletiva. Por fim, a própria UEPS deve ser avaliada, a fim de se saber se é potencialmente significativa ou não. E essa só será considerada exitosa se houver evidências de que houve aprendizagem significativa por parte dos alunos (MOREIRA, 2016).

Capítulo 2

Breve histórico sobre a medida do tempo

Este capítulo apresenta um compêndio de informações sobre como surgiu historicamente a necessidade de se medir e contar o tempo, e, principalmente, de que maneira algumas sociedades se empenharam em realizar essa tarefa. Para isso, utilizamos como base alguns materiais disponíveis sobre o assunto, como a coletânea *História Ilustrada da Ciência - 4 Volumes*, de autoria de Colin A. Ronan, o sítio de Astronomia e Astrofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ministrados pelos Professores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, e o livro *Longitude*, de autoria de Dava Sobel, e a partir daí fizemos um breviário das informações mais relevantes à nossa pesquisa.

Sendo os corpos celestes portadores de grande regularidade em seus movimentos, estes seriam os parâmetros ideais para a medida do tempo, motivação que impulsionou o desenvolvimento da Astronomia em sociedades antigas. Atribui-se ao tempo, desde épocas remotas, propriedades de escoamento e impermanência. Os símbolos humanos estão em constante evolução. Não é diferente com o tempo, cujo significado precede o status de grandeza física. Pelo que indicam os registros históricos, o homem está se dedicando a contar a passagem do tempo há mais de 20 mil anos. Há 5 mil anos, babilônios e egípcios já regulavam as atividades de plantio com um calendário. Dessa forma, o primeiro significado da contagem do tempo estaria subordinado à sobrevivência no sentido da caça: o ser humano nômade usa as fases da lua para saber quando a noite será iluminada (lua cheia), que é mais propensa à caça. Ao que indicam os apontamentos históricos, esse registro provavelmente era feito em gravetos e ossos com marcações que representavam a contagem dos dias do ciclo da lua. (STIX, 2002)

Com o sedentarismo, surge a necessidade da contagem de ciclos mais longos. O fato é que, ao se fixar em uma terra para plantar e produzir, o ser humano vê-se diante do rigor do ciclo das estações. Pois se o homem não souber o período certo para plantar, perderá sua semeadura/colheita. Se não possuir o que estocar pelo período certo, morrerá de fome no inverno. O homem passa a ter que saber o que esperar da natureza antes de plantar. Com a agricultura e pecuária, o ciclo das estações deve ser associado ao ciclo da vida. Conforme as sociedades se organizam, surge a necessidade de se ter calendários.

Mostraremos, a seguir, como se desenvolveram os calendários em alguns povos antigos. Notar-se-á que os ciclos astronômicos ditaram a contagem dos ciclos humanos e

impulsionaram o desenvolvimento de diversas sociedades. Apesar das barreiras étnicas e até mesmo geográficas entre alguns, como é o exemplo dos maias (na América pré-colombiana) em relação à Europa, África e Ásia, há fortes semelhanças nos padrões e na forma de construção de calendários. Isso serve de indicativo de que abordar o tempo sob a perspectiva dos ciclos astronômicos pode ser a forma mais natural e intuitiva do ser humano conceber o tempo.

2.1 Calendários astronômicos

Dentre os calendários dos tempos antigos, o calendário egípcio foi o mais avançado, apesar de não ser astronomicamente sofisticado. Egípcios utilizavam a Astronomia essencialmente para marcar o tempo, não buscando reflexões filosóficas acerca do movimento dos astros. A marcação do tempo propiciava uma administração mais eficiente, com a cobrança de tributos feita devidamente no tempo.

O calendário civil egípcio foi, provavelmente, posto em prática entre 2937 e 2821 a.C. Os sacerdotes-astrônomos do Egito utilizaram como referência o despontar no céu do oriente da estrela Sirius. Mais especificamente, seu nascimento helíaco (momento em que um astro aparece na linha do horizonte logo antes do nascer do sol), depois de um longo período de invisibilidade, coincidia com a época da cheia do Nilo. Em sua Cosmogonia religiosa, os egípcios acreditavam em uma inundação original, da qual emergiu uma colina com os primeiros seres vivos. Como o evento astronômico do nascimento helíaco de Sirius estava ligado à inundação anual do Nilo, esta data se tornou o “Iniciador do Ano”, ao qual o calendário civil foi associado. O ano era constituído de doze meses de 29 ou 30 dias, conforme o ciclo de fases da Lua, de $29 \frac{1}{2}$ dias, totalizando 354 dias. A cada dois ou três anos, era adicionado um mês intercalar para a correção no atraso.

Ao fim do período Pré-Dinástico, fez-se necessário um calendário mais preciso diante do sistema administrativo mais rígido implementado. Desta forma, o novo calendário foi calculado com base nas estações, sendo medido pelo período entre um solstício de verão e o seguinte, totalizando 365 dias. A data do solstício poderia ser precisada através de uma haste vertical cravada no solo, através da qual fosse possível acompanhar o movimento anual da sombra projetada pelo Sol.

Ao passar de 200 anos, o calendário acumulou um atraso de 50 dias, pois a duração do ano na verdade mede $365 \frac{1}{4}$ dias, e deixou de acompanhar as estações. Um novo ano lunar foi imaginado para ser usado junto ao calendário civil e, cerca de 2500 a.C., o Egito tinha três

calendários. A consolidação de um calendário único deu-se num período muito posterior ao período clássico da civilização egípcia (provavelmente no século V a.C.).

Não muito distante do Egito, na região da Mesopotâmia, também se desenvolveu um calendário lunissolar. No início, os sumérios pensavam que o ano tinha 360 dias, assim como os egípcios. O dia também foi dividido em doze períodos iguais, cada um de 30 *gesh*, o que também totalizava 360. Dividiu-se, então, o céu em 360 setores, o que deu origem ao círculo de 360 graus. O calendário mesopotâmio também era lunissolar. O ano civil contava 354 dias, composto por 12 meses de 29 ou 30 dias. Havia um décimo terceiro mês intercalar, desde muito cedo, pois, durante o período de 2294 a 2187 a.C., “já se sabia que a introdução de meses intercalares seguia ciclos de oito anos”. (RONAN, p.50, 2001)

Outros exemplos de calendários antigos lunissolares, são os calendários judaico e chinês, que, assim como o egípcio e o sumério, também possuíam décimo terceiro mês intercalar. O calendário judaico tinha início em 3761 a.C., data a que atribuíam a criação do mundo. Já o calendário chinês se iniciava em 2637 a.C. e tinha uma peculiaridade: os chineses associam doze animais ao ciclo dos anos e acreditam que o animal que rege determinado ano influencia a personalidade das pessoas nascidas nesses períodos. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

Do outro lado do Oceano Atlântico, até então nunca cruzado, um outro povo desenvolveu um sistema de contagem do tempo bastante sofisticado, os maias. Apesar de não terem desenvolvido um calendário lunissolar, também usaram os astros para registrar a passagem do tempo. O povo maia tinha muito interesse em registrar os acontecimentos históricos e por isso estavam interessados em ciclos de longa duração. Criaram um sistema de contagem que tinha início no terceiro milênio antes de Cristo. Queriam conhecer precisamente o tempo para registrar precisamente a história. Os maias não parecem ter desenvolvido qualquer teoria astronômica, porém seu calendário era elaborado seguindo diversos ciclos astronômicos. Seu calendário possuía 365 dias, divididos em 18 meses de 20 dias, e os cinco restantes eram denominados “dias do mau presságio”. O ciclo era composto de 52 anos de 365 dias, baseados nos calendários circulares dos olmecas.

Concomitantemente, havia um calendário lunar, baseado em suas fases, e um contador de dias, cujos conjuntos de treze dias (*trecena*) e de vinte dias (*vientena*) alternados. Unindo-se as informações dos ciclos solar e lunar, assim como o contador de dias, era possível prever o ciclo dos eclipses solares, que ocorria a cada 405 meses lunares.

Os maias observavam, ainda, o ciclo de Vênus e, associando-o ao ciclo do planeta, tinham “um grande ciclo”, de 37960 dias. Assim, na busca por um método eficiente de

representar o tempo, o maias levam o mérito de tentar dirimir as possíveis ambigüidades geradas na contagem de fatos históricos, pensando ciclos de longa duração. (RONAN, 2001)

Voltando a atenção à Europa Ocidental, destaca-se a construção da estrutura conhecida como Stonehenge, que se iniciou no período neolítico (por volta de 2800 a.C.) e foi concluída por volta d 1100 a.C. Além de ser uma construção religiosa, há pouca dúvida de que Stonehenge era um observatório astronômico conforme indicam levantamentos topográficos e análises estatísticas. Sua estrutura possibilitava uma boa observação do nascer e pôr do Sol e da Lua em uma região em que a latitude não permitia a observação satisfatória dos nascentes e poentes helíacos, possibilitando a elaboração de um calendário das estações, ao que tudo indica, de 365 dias dividido em 16 meses solares. A precisão na construção desses círculos de pedra indica que a civilização poderia ter um sistema organizado de padrões de medida. (RONAN, 2001)

2.1.1. A evolução do nosso calendário

O calendário atualmente utilizado no ocidente tem sua origem no calendário romano. Foi sendo modificado ao longo da história e pouco a pouco incorporado por diversos países do ocidente até chegar-se a uma padronização para boa parte do globo.

O mês romano acompanhava o período sinódico da Lua, com 29,5 dias. Por isso os meses tinham 29 e trinta dias, alternadamente. Em doze meses, isso completava um total de 354 dias, ou um ano civil. Os anos eram chamados de *a.u.c. (ab urbe condita)*, que significa “a partir da fundação da cidade de Roma” e o primeiro dia de cada mês chamava-se *calendas*, de onde tem origem o nome calendário. Havia um problema, no entanto, com esse calendário: era sabido à época que um ano possuía 365,25 dias, então, para ajustar o ano civil ao ano sideral, a cada três anos adicionava-se um 13º mês ao ano civil, o que tornava o calendário muito irregular. Em virtude disso, em 46 a.C., o imperador Julio Cesar (102-44 a.C.) reformou o calendário, orientado pelo astrônomo Alexandrino Sosígenes (90-? A.C.). (FILHO, SARAIVA, 2016a)

O Calendário Juliano tinha doze meses, totalizando 365 dias. A cada três anos de 365 dias, haveria um ano de 366 dias, chamado ano bissexto, que recebeu esse nome pois haveria um dia duplicado no ano: o sexto dia antes das *calendas* de março, chamado de *ante diem bis sextum Kalendas Martias*, ou simplesmente *bissextum*. Com o objetivo de acertar o calendário com a primavera, foram adicionados 67 dias àquele ano e o primeiro dia do mês de março foi

chamado de primeiro de Janeiro. O mistifório foi tamanho que este ano recebeu o nome de Ano da Confusão. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

O sistema de numeramento dos anos d.C. (depois de Cristo) foi instituído pelo abade romano Dionysius Exiguus (470-544 d.C.), cuja estimativa para a data do nascimento de Cristo correspondia a 25 de dezembro de 754 *a.u.c.* A essa altura, então, se estaria no ano 527 d.C. A determinação da data do nascimento de Cristo é bastante controversa, tendo Kepler sugerido que essa data estaria adiantada em cinco anos. Muitos historiadores usam como base a data do falecimento do rei Herodes para estimar a data do nascimento de Cristo. Alguns ainda tomam por base conjunções envolvendo Júpiter, que estando destacado a brilhar no céu poderia ter sido interpretado como a *estrela-guia* supostamente seguida pelos reis magos. As estimativas levam a datas para o real nascimento de Cristo entre 2 d.C. e 5 d.C. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

O período de revolução da Terra em torno do Sol não possui 365,25 dias exatamente. Na verdade, ele possui 365,242199 dias. Essa diferença pode parecer irrelevante, mas atinge 1 dia a cada 128 anos e, em 1582, foi percebido um adiantamento de 10 dias na data de início da primavera. Deduziu-se, a partir daí, que o ano seria um pouco mais curto que 365 dias. A consequente antecipação da data da Páscoa incomodou o papa Gregório XIII (1502-1585 d.C.), que introduziu uma nova reforma no calendário instituindo o Calendário Gregoriano.

Além de acrescentar 10 dias ao calendário e corrigir a data da Páscoa (e do início da primavera), foi resolvida também a questão do ano bissexto, que passou de 25 para 28 de Fevereiro. A regra a ser usada seria que anos múltiplos de 100 não fossem bissextos, com exceção dos múltiplos de 400. Ou seja, o ano 2000 foi bissexto, mas 1900 não foi e 2100 também não será. Além disso, o Ano Novo passou a ser comemorado no dia 1º de Janeiro. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

Os países católicos, como Portugal (e, portanto, o Brasil), Itália, França, Polônia e Hungria adotaram imediatamente o novo calendário. Em 1752 ele foi aderido pela Inglaterra e pelos Estados Unidos (onde o dia 2 de Setembro foi seguido do dia 14 de Setembro). A Rússia aderiu-o após a revolução Bolchevista, em 1918, quando 31 de Janeiro passou a ser 14 de Fevereiro. Outros países também aderiram ao calendário Gregoriano, cada um em uma época diferente. Na Alemanha, nem mesmo as cidades seguiram sincronia em adaptar-se ao novo calendário. A Rússia só aderiu ao calendário gregoriano em 1918, e quando o fez adiantou-se o ano em alguns dias. Com isso, a famosa “Revolução de Outubro”, que ocorreu em 1917, passou a ser na verdade em novembro, pois sua data foi retroativamente ajustada para o novo

calendário civil. Outros eventos históricos que aconteceram entre os séculos XVI e XX também tiveram problemas com sua datação, devido à adoção fracionada do calendário pelo Ocidente. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

2.2 Instrumentos antigos de medição do tempo

Os relógios se baseiam nos movimentos. Para medir bem o tempo, é necessário que esses movimentos sejam padronizados. O modelo aristotélico de Universo classificava os movimentos de acordo com a região do universo em que aconteciam. Acima da Lua (astro tido como o mais próximo de nós), os movimentos seriam circulares, eternos, perfeitos e imutáveis. Seriam os ideais para medir o tempo. Mas, basta um dia chuvoso para impedir que a medição seja feita. Ainda, navegando pelo mar, sem saber ao certo sua localização, também fica difícil interpretar os astros para medir o tempo. Por isso, durante as grandes navegações, desenvolver um relógio que funcionasse bem na superfície do planeta, sem usar o movimento dos astros fez-se necessário à sobrevivência dos marinheiros (SOBEL, 2008). O motivo é simples. A partir de uma posição geográfica a observação do céu será diferente da que se tem a partir de outra posição geográfica e, quanto maior a distância, maior a diferença. Porém, o céu se modifica ao longo do tempo devido à rotação incessante da Terra. Assim, para saber sua localização a partir das estrelas, faz-se necessário conhecer o instante de tempo em que se as observa. Como o relógio se baseia nos movimentos, uma forma de desenvolver esses relógios que não se baseiam nos astros seria usando os movimentos que existem na Terra. No modelo Aristotélico, existiriam dois tipos: o movimento natural e o violento. O natural seria vertical (à semelhança da queda-livre de uma pedra, ou da “livre subida” de uma bolha na água). A Terra seria feita de quatro elementos (terra, água, ar e fogo) que obedeceriam a uma organização no espaço, buscando com esse movimento, ocupar seu lugar natural. O movimento violento seria todos os outros tipos, por exemplo, chutar uma bola. Classificaremos os relógios antigos de acordo com o tipo de movimento no qual cada um se baseia, sob o ponto de vista do modelo aristotélico. Esses relógios não são perfeitos, falham ligeiramente nas medidas se pensarmos em frações muito pequenas de tempo. Assim, a medição moderna do tempo se dá num contexto científico muito mais rico e se baseia nos conceitos de física quântica.

2.2.1 Medida do tempo baseada no Movimento natural supralunar

O movimento natural na região acima da Lua era tal qual podia-se observar nos astros: circular, eterno, imutável e perfeito. Esse movimento pontual poderia fazer dos astros

um relógio extremamente preciso. Para isso, era necessário ser capaz de prever esse movimento. O desenvolvimento da Astronomia permitiu ao homem utilizar o Sol e as estrelas para fatiar o dia e a noite em horas.

Um relógio de sol é um instrumento de medida do tempo que se baseia no movimento aparente do Sol sobre a abóboda celeste, do arrebol ao ocaso. Ele possui um mostrador com números que representam as horas do dia e um pino, cuja sombra é projetada sobre o marcador. O escorregar o Sol sobre o céu movimenta a sombra do pino sobre o marcador, correndo as horas do dia até o Sol se por.

Por volta de 2150 a.C., o dia egípcio dividia-se em dois períodos de doze horas, e era compreendido pelo período entre um e outro nascer do Sol. A divisão por doze teve por critério o nascimento helíaco de determinados grupos de estrelas no céu. A hora foi definida como o intervalo compreendido entre o nascer helíaco de um certo grupo de estrelas e o nascer helíaco do grupo seguinte. Em túmulos da época, havia “relógios de estrelas” pintados, fato histórico que respaldou a teoria supracitada. Para medir as horas durante o dia, eram utilizados relógios de Sol. (RONAN, 2001)

Assim como o Sol, as estrelas da esfera celeste têm um movimento aparente ao longo da noite, e isso se deve à rotação da Terra. Esse comportamento ordenado das estrelas permitiu ao homem medir as horas ao longo da noite. O nascer de certo grupo de estrelas mostrava que mais uma hora se passou. Assim, doze constelações conhecidas poderiam marcar o correr das horas. Porém, ao longo do ano, com a translação da Terra, o céu se modifica, sendo possível ver outras estrelas e deixando-se de ver algumas. Por isso conhecer bem estes ciclos era de suma importância para se precisar o tempo.

2.2.2 Medida do tempo baseada no Movimento natural sublunar

Outra forma de medir as horas, que independe das condições climáticas e também poderia ser usada em ambientes internos, seria utilizar os movimentos naturais na Terra. Segundo a física aristotélica dos quatro elementos, as substâncias buscavam seu lugar natural no espaço. Erguendo-se algo sólido ou líquido sobre ao ar, o elemento (terra ou água), do qual a substância é composta, busca seu lugar natural através de um movimento vertical para baixo. Assim, foram desenvolvidos relógios que utilizavam como base de medida do tempo o escoamento natural de alguma substância, como água, areia ou azeite. A clepsidra, ou relógio de água, é um dos mais antigos instrumentos de medida do tempo. Ele utiliza como princípio a viscosidade da água e usa um dispositivo movido à água impelido pela força da gravidade.

Desde o reino de Amenhotep (1397 a 1360 a.C.), os egípcios eram capazes de determinar as horas por clepsidras, cuja eficiência foi utilizada para construir um novo tipo de relógio de estrelas mais preciso. (RONAN, 2001)

De funcionamento semelhante, a ampulheta é um antigo instrumento que utiliza o escoamento da areia para medir passagem do tempo. Ela é composta por um recipiente vítreo com um estrangulamento no meio que o subdivide em duas partes chamadas âmbulas. A areia corre lentamente ao passar pelo estrangulamento e leva sempre o mesmo intervalo de tempo para escoar de uma âmbula à outra. Data do século III d.C.(RONAN, 2001)

Em torno de 1700 foi criado o relógio de azeite, muito utilizado na Idade Moderna. Era composto de um recipiente vítreo graduado por uma escala que era marcada pelo nível de óleo. Na parte inferior havia um bico, onde se acendia uma chama que consumia o óleo, fazendo baixar o nível de óleo que marcava as horas. Funcionava da mesma maneira que a clepsidra, mas tinha a vantagem de também proporcionar iluminação.

2.2.3. Medida do tempo baseada no Movimento violento

O último tipo de movimento descrito por Aristóteles é o movimento violento, que seriam todos aqueles que não fossem naturais aos elementos. Um exemplo de movimento violento seria aquele gerado pela força de uma mola comprimida. O relógio de corda, criado em 1585, é composto por engrenagens que fazem ponteiros girarem com velocidade angular constante e utiliza a energia de uma mola em espiral para fazer girar um conjunto de engrenagens que movem os ponteiros. A energia necessária para girar os ponteiros é obtida a partir da energia potencial elástica da mola torcida. (SOBEL, 2008)

Em 1657, foi desenvolvido o primeiro relógio de pêndulo, por Christian Huygens. O movimento de um pêndulo que faz pequenas oscilações é regular e o seu período de oscilação e depende apenas do comprimento do fio ou haste que pendula. Com base nessa propriedade, foram desenvolvidos esses relógios, que inicialmente era feitos com hastes de metal. A dilatação do metal com a variação de temperatura é bastante significativa e isso causava desajustes na medição das horas. Esse problema foi solucionado desenvolvendo-se relógios de pêndulo de madeira. Esse tipo de relógio funciona bem em quando está parado. (SOBEL, 2008)

2.3 Moderna medição do tempo

A maioria dos relógios que se encontram a venda nos dias de hoje, especialmente os de pulso, são relógios de quartzo. O quartzo é um material do tipo piezoelétrico. Isso significa

dizer que ele se dilata quando é aplicada a ele uma tensão elétrica. Esse processo de dilatação ocorre com valores precisos de acordo com a tensão aplicada. Se a tensão aplicada oscilar, é possível fazer o cristal vibrar com uma frequência fixa. Essa vibração pode ser detectada por meio de instrumentos que equivalem os períodos de oscilação à contagem do tempo. O relógio de quartzo surgiu em 1933 e é extremamente preciso; varia em torno de um milionésimo de segundo por dia, e também é de fabricação barata.

O relógio atômico é, dentre todos, o mais assertivo na medida do tempo e se baseia na propriedade dos átomos em ter um padrão definido de frequência na oscilação de sua energia. Um estímulo externo pode excitar o átomo que irá oscilar de forma constante. Os átomos mais usados são césio, hidrogênio e rubídio, mas principalmente o césio. A cada 9.192.631.770 oscilações do átomo de césio-133, conta-se um intervalo de tempo de 1 segundo. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

2.4. O tempo relativo

Após encontrar-se absoluta precisão na medida do tempo, eis que este deixa de ser absoluto, ele mesmo. O conhecido experimento de Michelson-Morley foi um experimento realizado em 1887 que pretendia verificar os efeitos do movimento relativo da Terra sobre o *éter luminífero*. O éter seria o meio por onde a luz se propaga. Quando em movimento relativo à propagação da luz, ele deveria produzir um efeito semelhante a uma correnteza. Se uma pessoa cruza um rio a nado, chega deslocada à outra margem na direção da correnteza, pois sua velocidade, ao cruzá-lo, se soma à da água. Testando a propagação da luz em diversas direções, deveria se perceber esse efeito de arraste dos raios de luz pelo meio em que se propagavam.

Assim, o movimento relativo da Terra faria o éter ficar em movimento em relação à propagação da luz e deveria produzir pequenas alterações na velocidade da luz, dependendo da direção de propagação, e os experimentadores pretendiam detectá-las com um instrumento chamado interferômetro. Os resultados do experimento e das posteriores replicações foram avassaladores. Não importava a direção em que o interferômetro fosse apontado, nunca foi detectada qualquer variação na velocidade da luz. (LIMA, 2016)

Esses resultados incisivos iniciaram o sepultamento da teoria do *éter luminífero* e criaram uma situação embaraçosa na Física Clássica: a invariância da velocidade da luz é claramente conflitante com as transformações de Galileu, visto que, segundo essas transformações, a velocidade da luz deveria ser modificada pelas velocidades relativas dos referenciais. Essa inconsistência embaraçosa foi eliminada por Einstein em 1905, de uma

forma muito inusitada. Einstein foi o primeiro a perceber que o problema da inconsistência estava na presunção do tempo absoluto e propôs uma revisão nos conceitos de espaço e de tempo, consolidados há séculos, em prol de uma nova visão, a qual recebeu o nome de Teoria da Relatividade Especial. Note-se que é preciso uma boa dose de coragem para se insurgir contra um conceito tão universalmente aceito quanto o do tempo absoluto, um conceito que nos parece tão claro, óbvio, lógico.

Einstein propôs uma forma de conciliar a equivalência entre os referenciais inerciais (da mecânica newtoniana) e a invariância da velocidade da luz (experimento de Michelson-Morley), através da relativização dos conceitos de espaço e de tempo, os quais passariam a depender do referencial do observador. Einstein resumiu as bases de sua teoria em dois postulados (UGAROV, 1979):

- As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Ou seja, os fenômenos físicos acontecem da mesma forma em todos os referenciais inerciais, desde que as condições iniciais sejam as mesmas.
- A velocidade da luz tem o mesmo valor em todas as regiões e em todas as direções de um referencial inercial, e tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais.

A ocorrência dos fenômenos físicos é descrita com base em *eventos*. Evento é um fenômeno tão pequeno que pode ser representado geometricamente por um ponto e que dura tão pouco, que sua duração pode ser representada por um instante. Os eventos acontecem na natureza. Para se poder trabalhar com eles, é necessário revesti-los de atributos matemáticos, com base em um sistema de referência. Utilizando-se um relógio e um sistema de coordenadas geométricas (medidos com réguas), é possível atribuir ao evento as quatro coordenadas necessárias para identificá-lo e distingui-lo de qualquer outro evento, a coordenada tempo mais as três dimensões do espaço. O relógio seria um relógio “natural”, baseado em propriedades intrínsecas da matéria. O relógio atômico serviria, pois é baseado em emissão de luz por átomos em determinadas frequências (descritas pela Mecânica Quântica).

A princípio (como a velocidade das interações é finita), o instante de ocorrência do evento deve ser registrado por um relógio localizado no mesmo ponto em que o evento ocorre. Isso significa que no referencial deverão existir tantos relógios independentes (de igual tipo) quantos forem necessários para descrever os eventos. Como extremo, devemos imaginar que há um relógio independente em cada ponto do referencial. Dessa forma, é possível revestir os eventos de uma descrição matemática para podermos trabalhar. Mas de

nada adianta ter as coordenadas temporais dos eventos, se os relógios são independentes e não conseguiremos relacionar as suas medições. Faz-se necessário adotar algum critério de *simultaneidade* e um meio de *sincronização*. O critério de simultaneidade foi sugerido por Einstein: dois eventos são simultâneos quando pulsos de luz emitidos desses eventos se encontrariam no ponto médio geométrico (meio do caminho) dos pontos em que os eventos aconteceram. (UGAROV, 1979)

Para sincronizar dois relógios, deve-se usar o critério de simultaneidade. Para sincronizar um relógio A com um relógio B pode-se estabelecer um procedimento descrito em três etapas como no seguinte exemplo: O relógio A emite um pulso de luz para ser refletido no relógio B e mede quanto tempo demora para a luz voltar. Se a luz leva 10 segundos no trajeto de ida e volta, o relógio A manda para o relógio B as seguintes informações: “A luz demora 5 segundos para viajar do relógio A até o relógio B. Às 12:00:00, enviarei um pulso de luz. Quando a luz chegar até o relógio B, atribua a esse instante o valor 12:00:05 na sua medição”. Assim que o relógio B receber o pulso, estarão sincronizados. Com esse procedimento, é possível sincronizar todos os relógios de um referencial, ainda que seja um por um. A sincronização é válida desde que todos os relógios estejam fixos em suas posições.

É possível sincronizar relógios em diferentes referenciais, por exemplo, sincronizar relógios de um referencial K com relógios de um referencial K', que se move em relação a K com velocidade V. Há que se posicionar um relógio A em K, e um relógio A' em K', de modo que o relógio A' passe pelo mesmo ponto em que está o relógio A, em algum instante. Daí basta que os relógios combinem atribuir o mesmo valor para o instante de encontro, por exemplo, atribuir o valor $t=t'=0$. A partir daí o relógio A' pode sincronizar os demais relógios de K' pelo procedimento descrito anteriormente. Pode-se observar, ainda, que o referencial K sabe que K' se move com velocidade V em relação a ele e pode medir a posição do relógio A', de modo a calcular quando ocorrerá o encontro entre os dois relógios. Portanto, basta que o relógio A mande para o relógio A' a seguinte mensagem: “calculei que passarás por mim às 12:15:48. Atribua esse valor ao instante do encontro”.

Para explicar as consequências da invariância da velocidade da luz nas medidas de tempo e espaço, Einstein propôs um experimento mental (*gedankenexperiment*) que ajuda a entender a necessidade de modificação do conceito de tempo absoluto e será descrito a seguir. Imagine-se um trem que se locomova com velocidade V não desprezível quando comparada com a velocidade da luz. Duas observadoras identificadas como Thaís e Morgana (Figura 1.1)

serão usadas como referencial para este e outros experimentos, que tornam possível o entendimento acerca algumas das consequências da invariância na velocidade da luz.

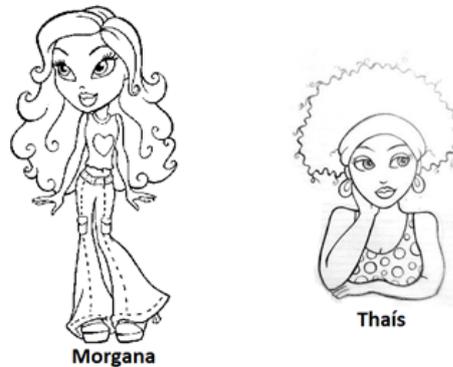


Figura 1.1: Referenciais de observação nos experimentos com o trem de Einstein. Morgana estará dentro do trem em movimento e Thaís estará num referencial fixo do lado de fora.
Fonte: elaborado pela autora.

Nos experimentos imaginários que irão se seguir, Morgana estará sobre um trem com altíssima velocidade e Thaís estará parada do lado de fora, no chão, observando tudo. Esse trem terá sempre uma velocidade grande o suficiente para não ser desprezível quando comparada à da luz. O trem imaginário é revestido por espelhos e possui lâmpadas que emitem pulsos de luz. As trajetórias dos raios de luz serão observadas e medidas a partir do referencial das duas garotas e os resultados serão comparados.

A figura 8 mostra um trem de comprimento $A'B'$ com a observadora Morgana localizada no ponto médio M de seu interior. A reta AB representa o chão do lado de fora, e a observadora Thaís está no ponto T , que coincide nesse instante com M . Dois raios caem nas extremidades do trem, simultaneamente, em relação a Thaís (Figura 1.2).

Nas extremidades do trem, há duas lâmpadas, que irão emitir um pulso de luz quando forem atingidas pelos raios. Os pontos A' e B' representam as extremidades do trem, onde estão localizadas as lâmpadas. Os pontos A e B estão fixos no chão, e representam as posições das lâmpadas quando os pulsos de luz foram emitidos. Para Thaís, as frentes de onda da luz emitida se encontram no ponto médio T do segmento AB , na Figura 8. Para Morgana, as frentes de onda da luz se encontram num ponto diferente do ponto médio M do segmento $A'B'$, que representa o meio do trem. Essas frentes de onda se encontraram no ponto T , independente do referencial. Quando o pulso de luz é emitido, tanto Morgana quanto Thaís estão no meio do caminho (Figura 1.2). Conforme o pulso de luz se desloca (com velocidade da luz), o trem anda com Morgana dentro (Figura 1.3).

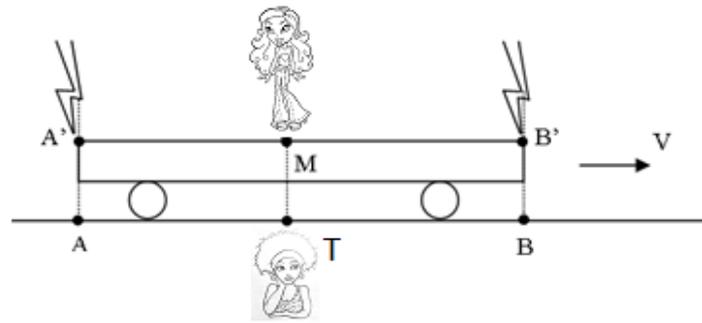


Figura 1.2: Evento da queda dos raios nos pontos A' e B' . Fonte: Elaborada pela autora

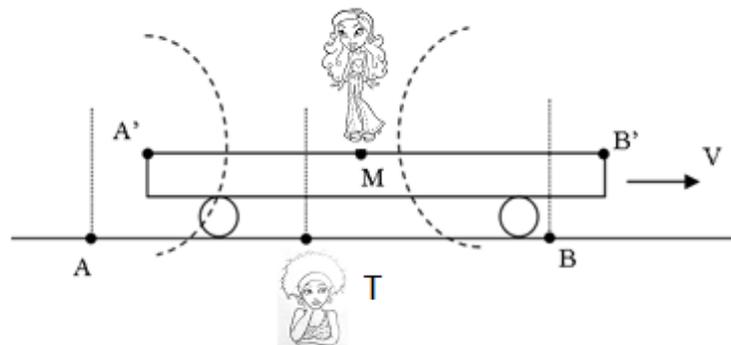


Figura 1.3: Pulsos de luz se deslocando enquanto o trem também se locomove. Fonte: Elaborada pela autora

O ponto onde as meninas vão perceber o encontro entre os pulsos de luz é o mesmo. Mas para Morgana esse já não é o meio do caminho (Figura 1.4).

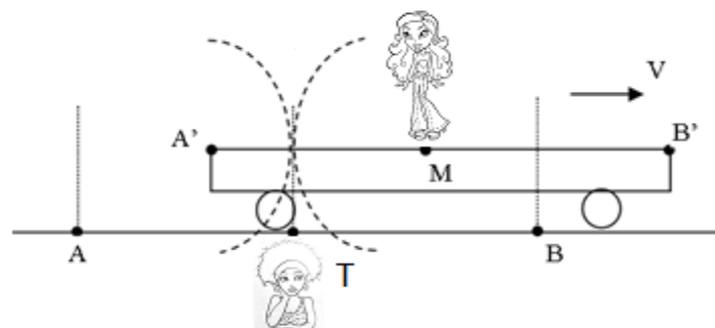


Figura 1.4: Pulsos de luz se encontrando. Fonte: Elaborada pela autora.

Para a Física clássica, Morgana percebe a velocidade dos raios de luz com valores diferentes: a luz que parte de B' tem sua velocidade aumentada de V e a luz que parte de A' tem sua velocidade diminuída de V . Mas isso vai contra a ideia de que a velocidade da luz é

invariante, conforme foi mostrado no experimento de Michelson-Morley. Einstein, por sua vez, interpretou a situação de uma forma brilhante e audaciosa. Enquanto os estudiosos esperavam uma descoberta que mostrasse falhas na experiência de Michelson-Morley, ou que a explicasse segundo os princípios clássicos, Einstein considerou a invariância da velocidade da luz evidenciada na experiência um atributo fundamental da natureza. Einstein entendeu que a velocidade da luz é a mesma para Thaís e para Morgana. Como então poderia, no ponto de vista da Morgana, a luz que partiu de B' ter coberto maior distância que a luz que partiu de A' ? A resposta obtida por Einstein é surpreendente, para Morgana, a queda dos raios não foi simultânea. Para Morgana, o raio de B' caiu antes do raio de A' . Por isso percorreu maior distância.

Mas como isso seria possível, se a queda dos raios foi simultânea para Thaís? Será possível se considerarmos que está errada a ideia de tempo absoluto. Ou seja, a diferença de referencial faz com que o “agora” de Thaís seja diferente do “agora” de Morgana. O conjunto de eventos que são simultâneos para Thaís é diferente do conjunto de eventos que são simultâneos para Morgana. O tempo não é absoluto, o tempo é relativo. Cada uma das meninas tem uma percepção diferente da realidade, devido aos diferentes referenciais, sendo que as duas formas são igualmente válidas. (UGAROV, 1979)

Verificar-se-á qual é o efeito do movimento relativo de referenciais sobre a passagem do tempo. Pra isso, será feita uma comparação entre a passagem do tempo entre referenciais. Um novo experimento será descrito, conforme a Figura 5, na qual Trem de Einstein possui uma lâmpada no chão, de modo que ela é capaz de iluminar o teto do trem. O teto do trem tem um espelho e o raio de luz retorna até a lâmpada. O evento de partida de um raio de luz é e_1 , enquanto o evento de chegada do raio de luz no espelho do teto é e_2 , e o evento de retorno do raio de luz à lâmpada é e_3 .

No referencial de Thaís, esses eventos estão localizados, respectivamente, nos pontos A, B e C (Figura 1.5), enquanto no referencial de Morgana, os eventos estão localizados nos pontos fixos no trem, A', B' e A' , respectivamente. Para Morgana, o raio de luz que sai da lâmpada faz o caminho vertical $A'B'$ até o teto, igual à altura do trem. Como durante a subida do raio de luz o trem se deslocou, para Thaís, o raio de luz que sai da lâmpada faz um caminho diagonal AB , maior que o caminho vertical $A'B'$. Dessa forma, a luz percorreu um caminho maior no referencial de Thaís do que no referencial de Morgana.

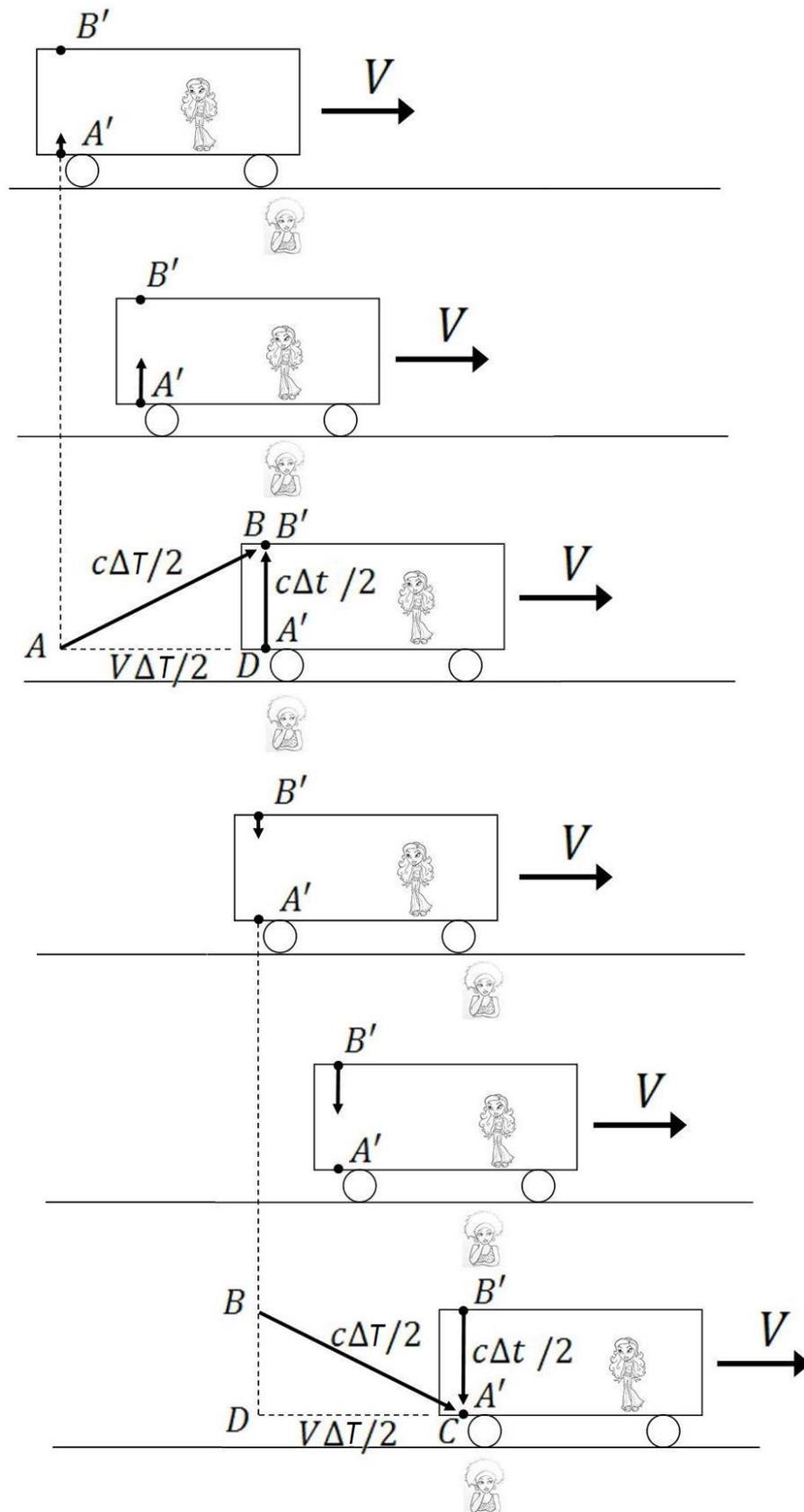


Figura 1.5: Ilustração de um pulso de luz emitido por uma lâmpada no chão, que é refletido por um espelho no teto e retorna à lâmpada. Fonte: Elaborada pela autora

Como a velocidade da luz é invariante para qualquer referencial, isso significa que a luz levou mais tempo percorrendo esse caminho, segundo o referencial de Thaís. Para Morgana, que estava no referencial com velocidade, esse tempo foi mais curto que para Thaís.

Considere-se, para efeito de cálculos, que o tempo de percurso e o espaço percorrido pela luz não é percebido pelas meninas da mesma forma. Chame-se de Δt o tempo medido pelo referencial de repouso em relação ao trem, Morgana. Chame-se d_{luz} a distância cobrida pela luz, também percebida por Morgana. Usando a equação do movimento retilíneo uniforme, tem-se que:

$$\text{distância percorrida} = \text{velocidade} \times \text{tempo}$$

$$d_{luz} = c \cdot \Delta t$$

Onde $c = 299792458 \text{ m/s}$ a velocidade da luz, que equivale a aproximadamente trezentos mil quilômetros por segundo.

Como a luz parece cobrir uma distância maior para Thaís, chamaremos a distância percebida por ela de D_{luz} e o tempo percebido por ela de ΔT . Temos, nesse caso, a relação:

$$D_{luz} = c \cdot \Delta T$$

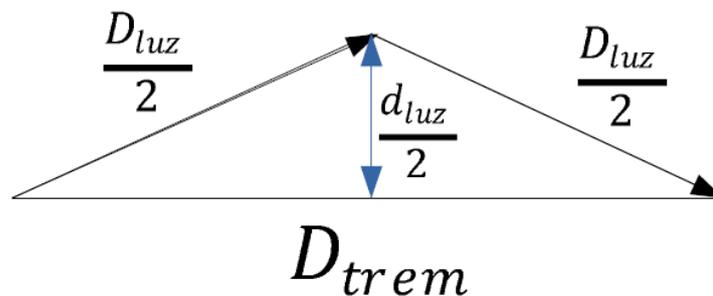


Figura 1.6: Trajetória do pulso de luz vista por Thaís (D_{luz}) e por Morgana (d_{luz}). Fonte: Elaborada pela autora.

Repare-se, na Figura 1.6, que se forma um triângulo isósceles, cuja base tem o comprimento do deslocamento do trem durante o trajeto de ida e volta da luz ao espelho, a que chamamos de D_{trem} , que também é observado por Thaís e vale:

$$D_{trem} = v \cdot \Delta T$$

Onde v é a velocidade do trem em relação a Thaís.

O triângulo da figura pode ser dividido em dois triângulos retângulos, cuja base mede

$$\frac{D_{trem}}{2}$$

a altura mede

$$\frac{d_{luz}}{2}$$

e a hipotenusa mede

$$\frac{D_{luz}}{2}$$

Pode-se encontrar a relação entre esses lados usando-se o Teorema de Pitágoras:

$$\left(\frac{D_{luz}}{2}\right)^2 = \left(\frac{D_{trem}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{luz}}{2}\right)^2$$

Multiplicando toda a equação por 2², temos:

$$(D_{luz})^2 = (D_{trem})^2 + (d_{luz})^2$$

Substituindo os valores das distâncias:

$$(c \cdot \Delta T)^2 = (v \cdot \Delta T)^2 + (c \cdot \Delta t)^2$$

$$(c \cdot \Delta T)^2 - (v \cdot \Delta T)^2 = (c \cdot \Delta t)^2$$

$$c^2 \Delta T^2 - v^2 \Delta T^2 = c^2 \Delta t^2$$

$$(c^2 - v^2) \Delta T^2 = c^2 \Delta t^2$$

$$\Delta T^2 = \frac{c^2 \Delta t^2}{(c^2 - v^2)}$$

Multiplicando o lado direito da equação pelo número 1, escrito de uma forma inteligente, $1 = \frac{1/c^2}{1/c^2}$, podemos reescrever a equação:

$$\Delta T^2 = \frac{c^2 \Delta t^2}{(c^2 - v^2)} \cdot \frac{1/c^2}{1/c^2}$$

$$\Delta T^2 = \frac{\Delta t^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Note-se que o tempo entre os eventos de emissão e retorno do pulso de luz, no referencial de Morgana foi medido pelo mesmo relógio, fixado no trem, que se move junto com a fonte emissora de luz. Esse intervalo de tempo é chamado, então, *tempo próprio do objeto*. O tempo próprio se encaixa naquilo que chamamos de *idade* do objeto. Já o tempo entre os eventos de emissão e retorno do pulso de luz, no referencial de Tháís foi medido em pontos diferentes (A e A'), ou seja, com relógios diferentes, ainda que sincronizados. Sempre que o tempo entre eventos for medido em pontos diferentes (ainda que com relógios sincronizados), o resultado da medição será maior do que o tempo próprio entre os eventos. Isso é chamado “dilatação do tempo”.

Como evidência experimental da dilatação do tempo, podem-se citar os múons, partículas provenientes dos raios cósmicos que incidem na atmosfera terrestre aqui. O múon é uma partícula instável que chega em nosso planeta com 99,98% da velocidade da luz. Mesmo sendo tão rápida, seu tempo de vida é curto e pelas leis clássicas não daria tempo dos múons atravessarem nossa atmosfera inteira sem que sofressem decaimento (num decaimento radioativo, a partícula se transforma em outra(s)). No entanto, é possível detectar múons que conseguem chegar à superfície da Terra. Como isso é possível? Só se o tempo que passa no referencial do múon (tempo próprio) durante o deslocamento for menor que o observado por nós, no referencial da Terra. Só assim o múon terá tempo de chegar à superfície da Terra sem sofrer decaimento (FAUTH, 2007).

As consequências da relatividade do tempo se estendem à medida do espaço. Uma boa forma de medir distâncias é encostar uma régua (objeto tomado como referência) simultaneamente nos pontos cuja distância se deseja medir. No contexto do Tempo Absoluto, essa simultaneidade é fácil de conseguir, visto que há um “agora” compartilhado por todos os objetos no espaço, em todos os referenciais. Ou seja, ao se medir alguma distância com uma régua, a simultaneidade da medição dos pontos é automaticamente observada por todos os demais observadores, em todos os referenciais. Mas na Relatividade a simultaneidade é relativa: o que é simultâneo para um referencial, pode não ser simultâneo para outro referencial. Logo, a medição simultânea com a régua num referencial pode não ser simultânea

em outro referencial. Portanto o resultado da medição num referencial não pode ser automaticamente utilizado em outro referencial diferente. Ressalte-se que o referencial é caracterizado pelo estado de movimento. Quando Thaís está parada na calçada num ponto fixo, qualquer outro ponto fixo, como uma pessoa parada do outro lado da calçada, vai medir a mesma coisa. Desse modo, surge um problema sobre a medição de distâncias que há que se enfrentar: as garotas estarão medindo coisas diferentes. Para efetuar as medidas de comprimento é necessário esquivar-se do problema da simultaneidade relativa. Sabe-se que a velocidade da luz é invariante, ela sempre vale $c \cong 300\,000\text{ km/s}$. Deve-se medir o tamanho do trem usando a luz para isso.

Em um novo experimento com o trem de Einstein (Figura 1.7), uma lâmpada fixa no ponto A' , extremidade lateral do trem, irá emitir um pulso de luz. Esse pulso será refletido por um espelho localizado na outra extremidade do trem, no ponto B' , e retornar à lâmpada em A' . O evento de partida de um raio de luz é e_1 , enquanto o evento de chegada do raio de luz no espelho do é e_2 , e o evento de retorno do raio de luz à lâmpada é e_3 .

Os pontos A' e B' estão fixos nas extremidades do trem em movimento. Os pontos A, B, C, D, E e F estão fixos no chão. O ponto A representa a posição da lâmpada quando o pulso de luz foi emitido. O ponto D é onde Thaís percebe o evento da reflexão do pulso de luz no espelho. O ponto E localiza o retorno do pulso luminoso à lâmpada.

Para Morgana, o tempo transcorrido até que o raio de luz retorne à lâmpada é Δt , que corresponde ao tempo de ida e volta, somados:

$$\Delta t = \Delta t_{ida} + \Delta t_{volta}$$

A luz percorre o comprimento do vagão na ida e na volta, chamaremos de l o comprimento do vagão. E chamaremos de d a distância percorrida pela luz, que corresponde a duas vezes o comprimento do vagão.

Usando a equação do movimento retilíneo uniforme, temos que:

$$\text{distância percorrida} = \text{velocidade} \times \text{tempo}$$

A distância percorrida pela luz na ida será dada por:

$$d_{ida} = c \cdot \Delta t_{ida}$$

Onde c é a velocidade da luz.

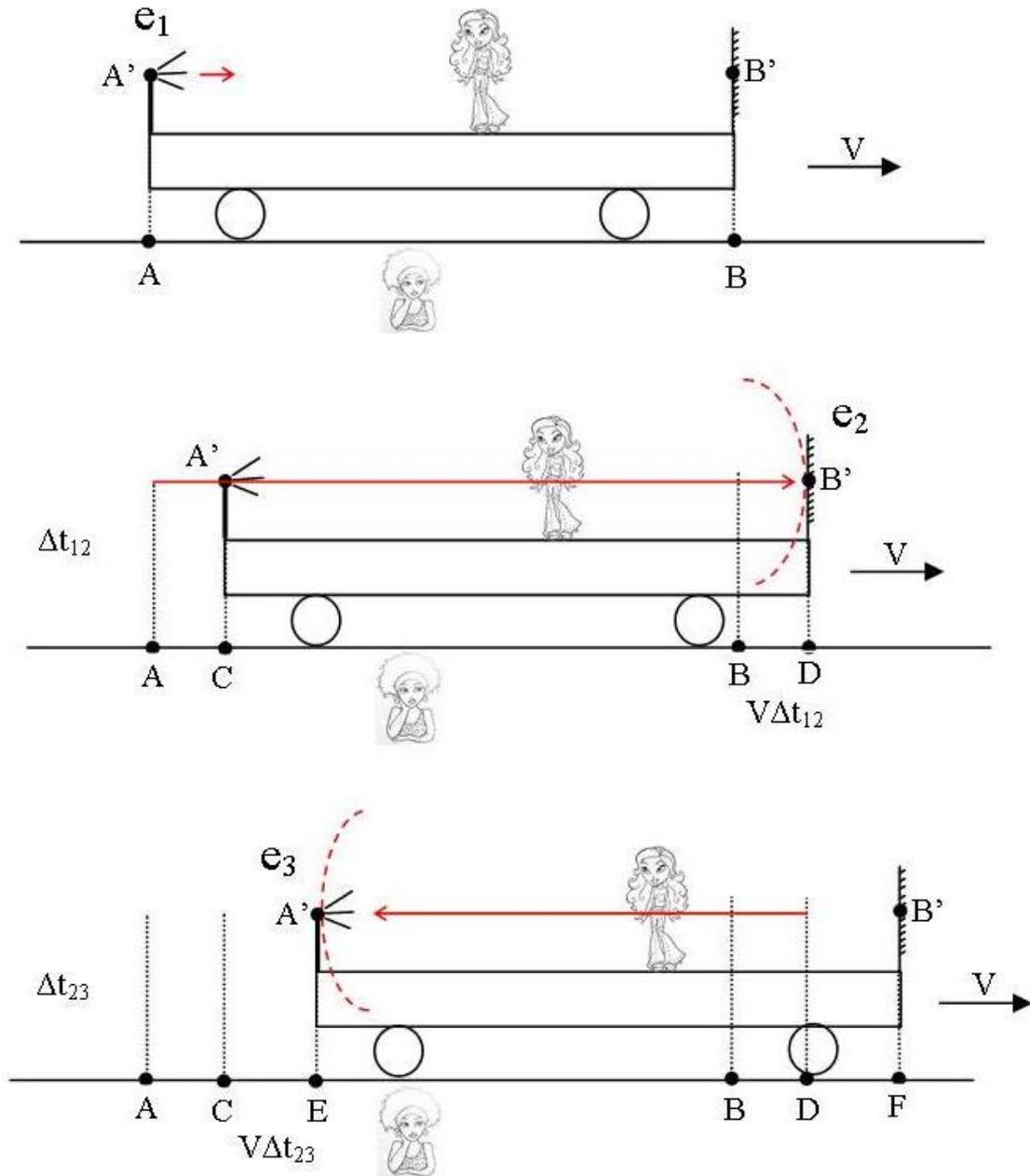


Figura 1.7: Pulso de luz emitido por uma lâmpada na extremidade esquerda do trem em movimento, refletido na extremidade direita, retornando à lâmpada. Fonte: elaborada pela autora.

A luz percorre o comprimento do vagão na ida e na volta, chamaremos de l o comprimento do vagão. E chamaremos de d a distância percorrida pela luz, que corresponde a duas vezes o comprimento do vagão.

Usando a equação do movimento retilíneo uniforme, temos que:

$$\text{distância percorrida} = \text{velocidade} \times \text{tempo}$$

A distância percorrida pela luz na ida será dada por:

$$d_{ida} = c \cdot \Delta t_{ida}$$

Onde c é a velocidade da luz.

A distância percorrida pela luz na volta será dada por:

$$d_{volta} = c \cdot \Delta t_{volta}$$

Assim, a distância total percorrida pela luz na ida e na volta será:

$$d = c \cdot \Delta t_{ida} + c \cdot \Delta t_{volta}$$

$$d = c \cdot (\Delta t_{ida} + \Delta t_{volta})$$

$$d = c \cdot \Delta t \text{ (equação 1)}$$

Como d corresponde a duas vezes o comprimento l do trem, temos que:

$$2l = d$$

$$l = \frac{d}{2}$$

Substituindo o valor obtido na equação 1:

$$l = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

O tempo transcorrido entre a emissão do sinal luminoso e o seu retorno à lâmpada, para o referencial da Morgana, então, será:

$$\Delta t = \frac{2l}{c} \quad \text{(equação 2)}$$

Vamos ver agora como fica essa medida feita pela Thais, que está do lado de fora do trem, e o observa se deslocar com velocidade v enquanto a luz faz o trajeto de ida e volta. Para Thais, quando a luz emitida atingir o espelho, este já terá se deslocado uma distância, a que chamaremos $d_{trem-ida}$, dada por:

$$d_{trem-ida} = \text{velocidadedotrem} \times \text{tempodeida}$$

Como sabemos que o tempo medido por dois referenciais é diferente, vamos chamar o tempo total (ida e volta) de deslocamento do pulso de luz medido por Thais de ΔT .

$$d_{trem-ida} = v \times \Delta T_{ida}$$

Não sabemos se Thais enxerga o trem com o mesmo comprimento que Morgana, por isso vamos chamar de L o comprimento que Thais atribui ao trem, e verificar se $l = L$ ou se $l \neq L$ (ou seja, se as meninas atribuem comprimentos iguais ou diferentes ao trem).

O trajeto que a luz fez na ida corresponde ao comprimento do trem, acrescido do deslocamento que este realizou durante o trajeto de ida da luz até o espelho. Chamaremos de D_{ida} essa distância, que pode ser dada por:

$$D_{ida} = L + d_{trem-ida}$$

$$D_{ida} = L + v \cdot \Delta T_{ida}$$

Mas essa distância foi percorrida pela luz, que tem velocidade c :

$$D_{ida} = c \cdot \Delta T_{ida}$$

$$c \cdot \Delta T_{ida} = L + v \cdot \Delta T_{ida}$$

Manipulando a equação, é possível isolar o tempo de ida da luz até o espelho:

$$c \cdot \Delta T_{ida} - v \cdot \Delta T_{ida} = L$$

$$(c - v) \cdot \Delta T_{ida} = L$$

$$\Delta T_{ida} = \frac{L}{c-v} \quad (\text{equação 3})$$

Faremos o mesmo procedimento com o caminho de volta da luz, do espelho à lâmpada. Agora, a luz percorre uma distância, D_{volta} , menor que o comprimento do trem. Essa distância será o comprimento do trem, menos o quanto ele andou nesse tempo (a que chamaremos ΔT_{volta}). A distância percorrida pelo trem no retorno do pulso à lâmpada será:

$$d_{trem-volta} = \text{velocidadedotrem} \times \text{tempodevolta}$$

$$d_{trem-volta} = v \times \Delta T_{volta}$$

Assim, a distância percorrida pela luz na volta será:

$$D_{volta} = L - d_{trem-volta}$$

$$D_{volta} = L - v \cdot \Delta T_{volta}$$

Mas essa distância foi percorrida pela luz, que tem velocidade c :

$$D_{volta} = c \cdot \Delta T_{volta}$$

$$c \cdot \Delta T_{volta} = L - v \cdot \Delta T_{volta}$$

Manipulando a equação, é possível isolar o tempo de ida da luz até o espelho:

$$c \cdot \Delta T_{volta} + v \cdot \Delta T_{volta} = L$$

$$(c + v) \cdot \Delta T_{volta} = L$$

$$\Delta T_{volta} = \frac{L}{c+v} \quad (\text{equação 4})$$

O tempo que a luz leva para ir ao espelho e retornar à lâmpada é ΔT , onde:

$$\Delta T = \Delta T_{ida} + \Delta T_{volta}$$

Substituindo as equações 3 e 4:

$$\Delta T = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v}$$

Simplificando:

$$\Delta T = \frac{(c+v)L + (c-v)L}{(c-v)(c+v)}$$

$$\Delta T = \frac{cL + vL + cL - vL}{c^2 - v^2}$$

$$\Delta T = \frac{2cL}{c^2 - v^2} \quad (\text{equação 5})$$

Sabemos que o tempo que passou para Morgana, Δt , se relaciona com o tempo que passou para Thaís, ΔT , pela equação:

$$\Delta t = \Delta T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Substituindo os resultados das equações 2 e 5, temos:

$$\frac{2l}{c} = \frac{2cL}{c^2 - v^2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Multiplicando a equação por $\frac{c}{2}$, temos:

$$l = \frac{c^2 L}{c^2 - v^2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Multiplicando o lado direito da equação pelo número 1, escrito de uma forma inteligente $1 = \frac{1/c^2}{1/c^2}$, podemos reescrever a equação:

$$l = \frac{\frac{1}{c^2}}{\frac{1}{c^2}} \cdot \frac{c^2 L}{c^2 - v^2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$l = \frac{L}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$l = L \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$l = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$L = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Como o fator $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ é um valor menor do que 1, isso representa que o comprimento L medido por Thaís é menor que o comprimento l medido por Morgana. Isso não significa que o trem ficou menor, mas que a medida que Thaís fez dele resultou num comprimento menor do que seu comprimento verdadeiro. Para medir distâncias, é necessário encostar uma régua simultaneamente nas marcações dos pontos cuja distância que se deseja medir. Ou seja, a medição de distâncias só faz sentido se for realizada entre eventos simultâneos. No caso da queda dos raios no trem de Einstein, os eventos a e b das quedas dos raios são simultâneos em relação ao referencial de Thaís, o que significa que ela pode medir o comprimento próprio entre eles, ao qual corresponde ao comprimento L do trem em movimento.

Mas, para Morgana, os eventos a e b não são simultâneos e ela não pode medir a distância entre eles. Para medir o comprimento do trem, ela teria que utilizar algum outro evento c , simultâneo ao evento a , que aconteça na outra extremidade do trem. Esse evento pode ser, por exemplo, outro raio que caia na extremidade B' do trem e que seja simultâneo ao raio a para a Morgana, uma vez que para medir um comprimento é necessário verificar simultaneamente os dois pontos dentre os quais se deseja medir a distância. Assim, tem-se duas situações distintas:

- os raios a e b são simultâneos para a Thaís, visto que os pulsos de luz que saem deles se encontram no ponto médio M do segmento AB .
- os raios a e c são simultâneos para a Morgana, visto que os pulsos de luz que saem deles se encontram no ponto médio M' do segmento $A'B'$.

Uma vez que, segundo o referencial de Thaís, a e b são simultâneos, certamente não o serão no referencial de Morgana. Então será necessário algum outro evento c para que este seja simultâneo ao evento a no referencial de Morgana. Mas aí, a e c não serão simultâneos no referencial de Thaís.

Então, Thaís mede o comprimento entre os eventos a e b , enquanto Morgana mede o comprimento entre os eventos a e c , pois o que é simultâneo para Thaís não é para Morgana e vice-versa. Então, na verdade, as garotas medem comprimentos diferentes e, portanto, obtêm

resultados diferentes. Esse fenômeno é chamado de “contração do espaço”. Essa terminologia é imprecisa, pois não há nenhuma verdadeira contração de espaço. O espaço continua o mesmo. O que ocorre na verdade é uma inevitável diferença de medições devido às diferentes percepções de simultaneidade temporal dos observadores.

Para Morgana, l equivale à medição do comprimento do vagão de trem em seu referencial de repouso *dentro do trem*. Por definição, o comprimento medido no referencial de repouso é considerado o comprimento verdadeiro do objeto – chamado de *comprimento próprio* do objeto.

Para Thaís, L corresponde ao resultado da medição do tamanho do vagão do trem quando em movimento, em relação ao referencial parado do chão.

$$L = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

O resultado da medição de L é matematicamente menor do que o de l , pois o termo $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ é menor que 1.

Assim, as medições dos tamanhos dos objetos em movimento, na direção do movimento, resultam em valores menores do que o tamanho medido no mesmo objeto em repouso. Esse efeito é frequentemente chamado de *contração do espaço* ou *contração de Lorentz*.

Ou seja, Morgana, que está dentro do trem mediria seu comprimento próprio, assim como irá medir o tempo próprio entre dois eventos que tenham origem lá dentro. Thaís, que está do lado de fora, vendo o trem em movimento, medirá seu comprimento contraído e verá dilatado o tempo entre dois eventos que ocorram lá dentro. Ou seja, a diferença entre as medições provém da diferente percepção da realidade em observadores situados em diferentes referenciais.

Dessa forma, o tempo é a lente que turva tudo que está em movimento. A “contração do espaço” é uma terminologia imprecisa, pois na verdade nada está contraído, o referencial (observador) que assim o percebe. O tempo nos mostra tudo sob a lente dele e, através do seu filtro, percebe-se a realidade.

Diante das diferentes percepções da realidade por observadores situados em diferentes referenciais, surge a necessidade de buscar por algo nos eventos que seja invariante entre os

referenciais. Um referencial é um conjunto de coordenadas com as quais descrevemos a posição e o instante de ocorrência dos eventos. Desse modo, um referencial é como uma roupagem com as quais revestimos os eventos, para que possamos estudá-los. Essa roupagem serve para descrever os eventos, mas ela o faz segundo o ponto de vista do observador que se encontra no referencial.

No espaço euclidiano 3-D existe uma propriedade associada aos pares de pontos que é independente de qualquer sistema de coordenadas: *distância*. Seria muito útil encontrar, para os pares de eventos, uma grandeza que também seja independente dos referenciais. Eis que há uma grandeza assim: a distância geométrica – comprimento próprio – entre os eventos no referencial em que esses eventos sejam simultâneos. Entre dois eventos, só poderá haver um determinado referencial no qual esses eventos sejam simultâneos e o comprimento próprio (comprimento “verdadeiro”) entre eles é único. O metro é a unidade de medida de comprimento padrão segundo o Sistema Internacional de Unidades. Em 1799 a medida do metro foi materializada por uma barra de platina cujo comprimento correspondia ao tamanho de um meridiano da Terra dividido por 4000000. A partir de 1983, o metro passou a ser obtido a através da velocidade da luz e um relógio atômico. O relógio mede o tempo com absoluta precisão, e um metro passa a ser a distância que a luz percorre em $1/299792458$ segundo. (LESCHE, 2005)

2.4.1 O tempo como a quarta coordenada do espaço

O fato de a velocidade da luz ser invariante independente do referencial tornou relativos ao referencial os conceitos de tempo e de espaço. O tempo que passa entre dois eventos medido por um referencial é diferente do tempo medido entre esses mesmos dois eventos para outro referencial. O mesmo acontece no espaço. Dessa forma, faz-se necessário redefinir os conceitos de tempo e espaço. A solução matemática para isso é tratar o tempo e o espaço estando essencialmente unidos, criando, com isso, um novo conceito: o espaço-tempo. Nessa perspectiva, o tempo passa a ser tratado matematicamente como a quarta dimensão do espaço. Diferente do espaço e do tempo, o espaço-tempo é invariante, independente do referencial.

No contexto da física clássica, quando o tempo era independente do espaço, o espaço era representado por três coordenadas (espaço 3D) e o tempo servia como parâmetro (matemático) externo. Isso ocorria ao se considerar um espaço-tempo que não é deformado por nada, um espaço-tempo plano. Na relatividade, o tempo passa a se comportar

matematicamente como uma coordenada espacial e deixa de haver um parâmetro matemático externo. Como parametrizar as coordenadas, então? É preciso usar algo invariante para qualquer referencial. Nesse caso, o tempo próprio serve. (UGAROV, 1979)

Quando o tempo integra-se ao espaço, então, surge uma nova “grandeza”, na qual esses efeitos de dilatação e contração se compensam, e garantem que as leis físicas sejam invariantes para qualquer referencial: trata-se do espaço-tempo. Assim, no conceito de espaço-tempo, o tempo torna-se a quarta dimensão do espaço, isso significa tratar a coordenada tempo da mesma forma que se tratam as coordenadas x , y e z , que compõem o espaço 3-D. (UGAROV, 1979)

2.4.2 *Passagem do tempo mais devagar sobre campos gravitacionais*

A medida da distância temporal entre dois eventos não é compartilhada por observadores em diferentes estados de movimento. No entanto, o movimento não é o único fator responsável por causar diferenças na medida do intervalo de tempo entre dois eventos. A curvatura do espaço-tempo, causada pela presença de energia, afeta a taxa segundo a qual o tempo flui. Onde a curvatura do espaço-tempo é maior, o tempo flui mais lentamente. “Quando sentimos a força da gravidade, estamos sentindo a improvisação rítmica do tempo; objetos em queda são dragados para lugares onde o tempo passa mais lentamente.” (MUSSER, p. 44, 2014)

O caso extremo da gravidade pode ser entendido como um buraco negro. Trata-se de uma concentração de massa numa região muito reduzida do espaço. A rigor, entende-se que a massa de um buraco negro está toda concentrada em um único ponto. Como um ponto não tem volume, isso leva a uma densidade infinita no centro do buraco negro. Para a Relatividade, o tempo expira dentro de um buraco negro. Trata-se de uma *singularidade*, termo que se refere a qualquer fronteira no tempo. A curvatura do espaço-tempo é tão grande em regiões próximas ao buraco negro, que nem mesmo a luz é rápida o suficiente para escapar de ser dragada. Segundo Musser (2014), se uma pessoa mergulhasse num buraco negro, ela “não sofreria uma morte, mas um apocalipse existencial”. Nenhuma de suas moléculas seria reaproveitada e sua linha do tempo terminaria.

“Não apenas todas as medidas que envolvem espaço e tempo são relativas, dependendo do estado de movimento do observador, como toda a estrutura do espaço-tempo está inextricavelmente vinculada à distribuição da matéria. O espaço é curvo em diferentes graus e o tempo flui a diferentes taxas em diferentes partes do universo. Chegamos, então, a apreender que nossas noções de um espaço euclidiano tridimensional e de um tempo que flui

linearmente estão, na verdade, limitadas à nossa experiência usual do mundo físico, e precisam ser completamente abandonadas quando estendemos essa experiência.” (CAPRA, 1975, p.139)

A alteração da passagem do tempo em função da curvatura do espaço-tempo fez com que, em 2000, a União Astronômica Internacional definisse dois sistemas de referência distintos: o Sistema de Referência Celestial Baricêntrico e o Geocêntrico. O primeiro é centrado no centro de massa do Sistema Solar, no qual se mede o Tempo Coordenado Baricêntrico, e o segundo, centrado na Terra, onde se mede o Tempo Coordenado Geocêntrico. Para realizar cálculos para eventos próximos à Terra, como o lançamento de satélites, usa-se o sistema Geocêntrico. Para cálculos que envolvam o sistema solar, ou ainda para além dele, utiliza-se o sistema Baricêntrico (FILHO, SARAIVA, 2016a). Assim, um novo tempo, descompassado pelo movimento e pela matéria, emerge do conceito de relatividade, proposto por Albert Einstein.

Capítulo 3

Desenvolvimento e aplicação do produto educacional

Definir o significado de tempo apresenta-se como uma tarefa difícil, por esse ser um conceito que não pertence somente à ciência natural. Muitos filósofos debruçam-se sobre o tema para tentar desvendar seu significado, e a resposta para o problema não é unânime. Para evitar exigir dos alunos um nível de abstração elevado demais, iremos abordar o tema em termos práticos. Acreditamos que quando não se sabe dizer ao certo o que é uma coisa, a forma mais simples de explicá-la é dizer para que essa coisa serve, e como é possível medi-la. Por isso, o produto educacional aqui desenvolvido será organizado em duas partes, que podem ser aplicadas independentemente. A primeira parte será uma abordagem do tema tempo sob a perspectiva da Astronomia, uma vez que historicamente a humanidade recorreu às observações astronômicas para elaborar formas de medi-lo. A execução dessa tarefa dependerá de uma abordagem consistente sobre o modelo do nosso Sistema Solar, pois cada correção que se queira fazer nas medidas de tempo precisará de um conhecimento mais detalhado do movimento da Terra, que é o verdadeiro responsável pela nossa percepção do movimento aparente dos astros. Assim, a Astronomia permitirá dar embasamento ao tempo absoluto de Newton. Espera-se, com isso, que os alunos tenham em mente um modelo de Sistema Solar bem definido, com leis físicas aplicáveis a todo o Universo, sob o ponto de vista clássico.

A fim de adaptar esse modelo de Sistema Solar à ciência contemporânea, estendendo a um modelo simplificado de Universo, optamos por abordar o tempo também sob o ponto de vista relativístico. Assim, apesar de as leis físicas serem as mesmas para todo o Universo, o compasso do tempo deixa de ser universal e o tempo integra-se ao espaço. Dessa concepção emerge o conceito de espaço-tempo, um meio que define a direção na qual um corpo será naturalmente acelerado. Espera-se, com isso reestruturar a ideia que se tem de gravidade, permitindo aos alunos construir um modelo mental de Universo em consonância a conceitos da ciência contemporânea.

A sequência didática foi desenvolvida para ser aplicada a estudantes do Ensino Médio, preferencialmente da primeira série. A primeira parte da sequência não requer dos alunos que tenham qualquer conhecimento prévio, de forma que pode ser aplicada já no primeiro bimestre, como o primeiro conteúdo do ano letivo. Essa abordagem provavelmente irá levar quase o bimestre todo, e o professor precisa dispor de 9 aulas duplas para a sua aplicação. Em

seguida, o professor pode optar por dar continuidade à sequência, iniciando a aplicação da segunda parte, que aborda a teoria da Relatividade Restrita, e um pouco de Relatividade Geral, e para a qual precisará dispor de 4 aulas duplas.

Como as duas partes podem ser aplicadas de forma independente, o professor pode optar por abordar temas da Física Clássica, como a dinâmica, por exemplo, antes de iniciar a segunda parte. Pode, ainda, no caso de não ser pertinente a aplicação do conteúdo em Astronomia, aplicar somente a segunda parte do produto, em qualquer série ou bimestre do Ensino Médio, conforme demanda local. Dessa forma, o número de aulas de que o professor precisa dispor será, no máximo, segundo o planejamento, 13 aulas duplas, podendo-se encurtar esse número ao separar os conteúdos. A abordagem didática será revestida de teoria e prática. Conta com aulas expositivas teóricas, com modelos experimentais feitos pelo professor e pelos alunos, e atividades que busquem a reflexão crítica dos alunos.

A aplicação do produto desenvolvido tem como objetivo validar sua potencialidade significativa. Além disso, a abordagem prática do conteúdo permite, em termos de pesquisa, avaliar o retorno dado pelos alunos. Suas dúvidas, seus entendimentos, suas observações contribuem para o aprimoramento das etapas seguintes da sequência, buscando atender à demanda dos alunos, tanto em seus interesses, quanto em suas carências conceituais. Dessa forma, o planejamento de cada aula foi repensado com base na aplicação da(s) anterior(es), buscando a melhor adequação dos conteúdos ao contexto e melhor execução dos métodos.

A sequência foi aplicada a uma turma de primeira série do Ensino Médio do Colégio Estadual Dom Pedro II, localizado no centro da cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro. As aulas foram ministradas no período vespertino, regular da turma, que é composta de aproximadamente 35 alunos, e equilíbrio na quantidade de meninos e meninas, com faixa etária de 14 a 16 anos. Nem todos os alunos são muito assíduos e a turma raramente está cheia. Como professora regente, tive total autonomia para decidir sobre a aplicação do produto educacional como pesquisa em ensino. O critério de escolha desta turma se deu pelo dia de nosso encontro semanal, que pelo calendário escolar teria menos feriados.

Com relação ao tempo disponível, a sequência didática foi planejada para ser aplicada em 13 aulas, sendo um módulo de 9 aulas acerca da medida do tempo sob o ponto de vista clássico, com enfoque na Astronomia, trabalhando seus conceitos, e as outras quatro aulas compondo um segundo módulo, que iria contemplar o significado do tempo revestindo-o de uma roupagem atribuída pela ciência contemporânea, que é o atributo de ser a quarta dimensão do espaço. Assim sendo, esses módulos poderiam ser aplicados de maneira

sequenciada, ou, ainda, separados por um intervalo de tempo. No caso da aplicação, ela foi planejada para ser realizada no primeiro bimestre. No entanto, devido a problemas diversos, essa aplicação teve que ser repetida no ano seguinte letivo, e para que houvesse tempo hábil de concluir o mestrado, não pode ser aplicado o segundo módulo, de forma que verificar a potencialidade significativa desta etapa não será possível no escopo deste trabalho, mas poderá ser realizado em outro momento. Para não deixar o professor sem uma diretriz, o Apêndice III traz sugestões de respostas para as atividades propostas sobre relatividade. A sequência é relativamente longa, podendo seu primeiro módulo ocupar um bimestre todo. No entanto, caberá ao professor avaliar se dispõe desse tempo, e a relação custo-benefício que pode obter em sua utilização. Com relação isso, não houve a intenção de diminuí-la, por concordarmos com Ausubel (2000, p.16), que afirma que:

[...] para o homem comum, a frequência da exposição do material de instrução não é apenas uma condição necessária ou essencial da maioria da aprendizagem e, em especial, da retenção significativa, mas também a variável mais importante que influencia esses resultados.

Nos tópicos a seguir, será apresentado o passo-a-passo da elaboração da sequência, com os objetivos específicos de cada etapa e os resultados esperados. Iremos descrever a aplicação da metodologia prevista, apontando os acontecimentos principais. Os resultados obtidos ao longo da aplicação serão discutidos no Capítulo 4.

3.1 Aula 1: Investigação das concepções prévias sobre Universo, Terra, Sol e seus movimentos relativos.

No planejamento da 1ª aula, foi prevista a aplicação de um questionário, que tem como objetivo investigar as concepções prévias dos alunos sobre Universo, Terra, Sol, e seus movimentos relativos. Espera-se que, com isso, seja possível evidenciar os modelos de Universo concebidos por cada um dos alunos. De posse desse questionário respondido, o professor pode destacar os aspectos mais relevantes abordados pelos alunos. Assim, na aula seguinte poderá evidenciar de que maneira essas concepções se relacionam com o conteúdo que será abordado na próxima aula, o modelo explicativo de Universo segundo Aristóteles.

A aplicação de um questionário prévio se faz especialmente importante, pois , fornecer dados para que o professor possa ter ideia dos conteúdos pré-existentes na estrutura

mental dos alunos. Esse questionário pode ser passado no quadro, é composto das seguintes perguntas:

1. A Terra é plana ou redonda? Como você pode provar essa afirmação?

2. O Sol gira em torno da Terra ou a Terra gira em torno do Sol? Como você observa esse movimento?

3. Desenhe o Universo.

Ambas as perguntas têm como objetivo investigar o hábito de observação da natureza. Apesar das respostas para as perguntas serem muito conhecidas, as justificativas ou comprovações são complexas e são fruto de um longo estudo em Astronomia desempenhado ao longo da história. Ao final das duas perguntas, eles podem ser conduzidos a se questionar se eles têm como provar o que lhes foi ensinado, ou se eles simplesmente acreditaram que a Terra tem dois movimentos: translação e rotação.

A terceira questão foi elaborada para ser respondida em forma de desenho, mas o professor pode permitir que o aluno escreva um texto para explicar ou complementar seu desenho ou ainda simplesmente escrever por não se sentir capaz de desenhar. A expressão das ideias em forma de imagem permitirá ao professor observar a noção de medidas astronômicas, ordem de grandeza, etc. Pretende-se, com isso, investigar os modelos de Universo pré-existentes nas estruturas mentais dos alunos.

Na aplicação do questionário de conhecimentos prévios, foi explicado aos alunos que eles não deveriam pesquisar no celular para responder, mas que eles o fizessem dizendo aquilo que realmente pensavam, pois a intenção dessa tarefa era descobrir o que “se passava na cabeça deles” (suas concepções prévias). Todos fizeram a atividade sem se opor, mas fizeram muitas perguntas. A principal pergunta era: “vale nota?” e “como assim?”, demonstrando desconforto e desconhecimento em fazer uma atividade para a qual o professor não gerou uma expectativa única de certo e errado. Eu lhes disse que as tarefas executadas em sala valeriam ponto de participação e que os alunos seriam pontuados pelo seu esforço em dizer a verdade. Alguns alunos pareceram desconfiar que eu realmente os daria boa nota caso escrevessem respostas “erradas”. Ficou claro que todos acharam muito estranha essa forma de avaliação. Durante a execução da tarefa, muitos alegaram que sabiam que a Terra girava em torno do Sol, mas não sabiam explicar porquê. Na hora de desenhar o Universo, mais perguntas ainda foram feitas. Então, eu passei a lhes perguntar o que teria no Universo. Não houve retorno, pois estavam confusos com a falta de objetividade das tarefas. Complementei então, lembrando-lhes que poderia haver estrelas, galáxias, planetas, alienígenas, etc. e que

eles deveriam desenhar as coisas que eles acreditavam existir no universo. Somente dessa forma eles conseguiram realizar a tarefa. Apesar de esse tipo de dica poder influenciar o resultado da tarefa, que tinha como intenção revelar os conhecimentos pré-existentes nos alunos, percebi que muitos me entregariam a tarefa em branco caso eu não os ajudasse em nada. Por isso, tentei fazê-lo apenas com perguntas que os direcionassem de maneira mais precisa a encontrar, dentro de suas mentes, possíveis respostas aos questionamentos feitos.

3.2 Aula 2: Modelo Aristotélico: geocentrismo

Essa aula tem como objetivo estabelecer os organizadores prévios que permitirão aos alunos construir um modelo explicativo de Universo que lhes permita fazer uma observação mais criteriosa do movimento aparente dos astros.

A aula tem como objetivo mostrar a visão que se tem do universo a partir da Terra e para isso foi escolhido o modelo aristotélico explicativo do Universo. A escolha da utilização deste modelo se deu com base em sua importância histórica, além de ser um modelo mais simples de entender, uma vez que se baseia no referencial geostático, que é o que melhor evidencia a forma como o movimento dos astros é apreciado a partir do referencial da Terra.

Esse conhecimento será extremamente útil como base (organizadores prévios) para a utilização do relógio solar, pois todos esses instrumentos se baseiam na perspectiva de observação a partir do referencial da Terra. Ainda que com justificativas superadas, o modelo geostático representa de maneira satisfatória a observação atenta e registrada do céu, uma vez que não somos capazes de sentir nenhum dos movimentos da Terra. Além disso, esse modelo já destaca de maneira razoável (e até um pouco intuitiva em alguns casos) a periodicidade no ciclo dos astros, que será objeto de nossa análise. Ainda, a física dos elementos que Aristóteles utilizava para descrever o comportamento da matéria representa uma maneira de se tentar construir um modelo explicativo de universo, que justificava de maneira consistente (para sua época) os movimentos naturais, tanto dos corpos na Terra, quanto dos corpos celestes. Destaque-se que, nesse momento da história, as leis da natureza seriam distintas para a Terra e o resto do Universo, ideia que só foi derrubada após Isaac Newton propor suas famosas leis.

Explicar o Sistema Solar sob o ponto de vista heliocêntrico exigirá uma abstração muito maior, pois os movimentos serão descritos a partir de um referencial externo ao planeta Terra. Sendo assim, a evolução dos conceitos irá se dar para que, mais a frente, haja uma transformação das ideias, aumentando seu nível de complexidade e abstração.

Esta aula conta com material de apoio, disponível também no Apêndice I, que foi xerocado e entregue aos alunos, do qual se destacam alguns aspectos:

“A Terra está no centro do universo sendo circundada pelos demais astros. Na figura, estão os astros que giram em torno da Terra, em ordem crescente de afastamento. A mais externa é a esfera das estrelas fixas.”

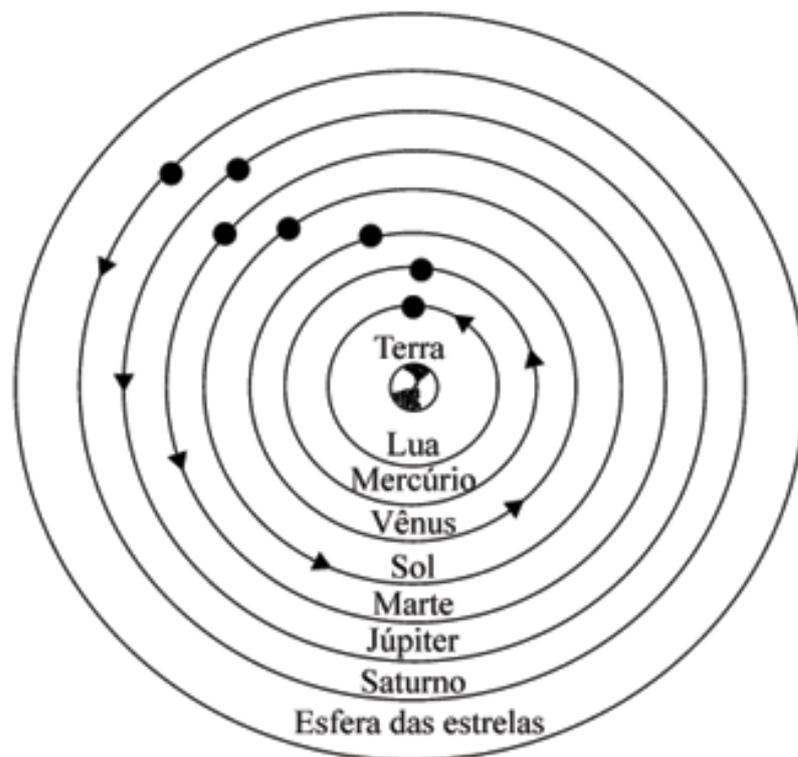


Figura 3.1: Modelo geocêntrico de Universo¹

Descrição aristotélica do movimento		
Movimento natural		Movimento violento
Na região sublunar	Na região supralunar	Causado por um ente externo
Vertical	Circular e eterno	

¹ Disponível em: <http://www.benitopepe.com.br/2009/09/19/a-fisica-e-a-astronomia-de-aristoteles-%E2%80%93-uma-visao-geral/>

Ao iniciar-se a aula, primeiramente foi questionado aos alunos se eles já haviam percebido que o Sol se movimenta descrevendo um arco sob a abóboda celeste ao longo de um dia inteiro. Todos concordaram que sim, e lembramos que o Sol nasce a Leste e põe-se a Oeste, fato também conhecido por quase todos. Destaca-se dessa conversa inicial que muitos alunos relataram pensar que as estrelas não se moviam pelo céu ao longo da noite, quando questionados sobre esse fato.

Apresentei a eles o modelo geocêntrico de Universo, com a Física dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo). Ao discutir a natureza dos movimentos, questionei a eles se as leis físicas que regem os fenômenos na Terra seriam as mesmas que regem os fenômenos celestes. A maioria demonstrou pensar que essas leis seriam diferentes, tal qual o modelo Aristotélico, que foi explicado em seguida. Segundo esse modelo, o mundo supralunar seria feito de um quinto elemento distinto, o éter, que justificaria o movimento natural circular, uniforme e eterno dos astros. A turma estava bem cheia, ainda assim, os alunos apresentaram um comportamento extremamente disciplinado e atento. Demonstraram muito interesse e, acima de tudo, demonstraram estar convencidos da veracidade do modelo apresentado, no que tange à explicação dos movimentos.

Chamei a atenção deles para o fato conhecido (mas visivelmente não muito compreendido) de que os Planetas giram em torno do Sol não estar em total desacordo com esse modelo, uma vez que, se tomarmos a Terra como referencial (e é o que obviamente fazemos), os movimentos aparentam ser assim, e não há nada de errado nessa descrição dos movimentos. No entanto, as justificativas dadas por Aristóteles para esses movimentos, assim como as generalizações, viriam a apresentar problemas com o acréscimo de novas informações.

3.3 Aula 3: Constelações do Zodíaco

A fim de evidenciar os ciclos mais longos presentes nos movimentos dos astros, essa aula será sobre constelações do zodíaco. Poder-se-ia trabalhar, a priori, o ciclo anual da Terra sob a ótica das estações, que são a representação mais “familiar” que se conhece acerca do período de translação terrestre. Porém, esse é um fator que será testemunhado de diferentes formas a partir de diferentes latitudes. A localização geográfica do observador irá interferir no clima, que terá as quatro estações bem definidas apenas em zonas temperadas do globo. Num país de dimensões continentais como o Brasil, as características climáticas são muito difusas, de forma que usá-las como parâmetro de medida de tempo pode destoar do objetivo almejado. Há, no entanto, uma maneira inequívoca de se acompanhar o ciclo da translação da Terra, que

não as estações do ano. As constelações do Zodíaco são aquelas que se posicionam atrás do Sol, em relação ao referencial da Terra, ao longo de um ano. A opção em se trabalhar, inicialmente, sob a perspectiva das constelações do zodíaco se deu por esse ser um fator que depende exclusivamente do céu. Além disso, diferentemente do ciclo anual das estações, este critério segue o mesmo padrão para os hemisférios Norte e Sul, de forma que se pode omitir, por ora, a questão pertinente à inclinação do eixo da Terra. Essa omissão proposital se deve ao fato de ainda estarmos descrevendo o movimento dos astros sob a perspectiva geocêntrica.

Para isso, primeiramente, define-se o que é constelação, um conjunto de estrelas que se observa em uma certa região do céu. Como o céu parece ter infinitas estrelas, a forma mais fácil de identificá-las é “ligando os pontinhos” em busca de desenhos. Pode-se ressaltar, por exemplo, que a constelação de Leão se parece com um leão quando ligamos suas estrelas com linhas imaginárias.

Pretende-se que a escolha do tema seja vantajosa por ser este um assunto relativamente presente no cotidiano das pessoas. Apesar de os ditos “signos do zodíaco” serem conceitos de astrologia, que não é uma ciência, estes se basearam, historicamente, na descrição precisa do movimento dos astros, que é nosso interesse nesse momento da sequência. Além disso, essa é uma boa oportunidade para se diferenciar Astronomia de astrologia e evidenciar que o conhecimento acerca das constelações do zodíaco se deu com base nos estudos em Astronomia. A astrologia era uma crença segundo a qual o movimento dos astros poderia estar relacionado às vidas pessoais dos indivíduos. Com o estudo das constelações do zodíaco, os alunos estarão diante de duas referências distintas para medir o tempo, a curto e longo prazo, ambas presentes no cotidiano deles, ainda que não muito notadas. O correr do Sol e das estrelas sobre a abóboda celeste fatia em horas os dias que, se agrupados, constituem um pacote ainda maior de tempo, o ano, que também pode ser medido observando o Sol e as estrelas, mas de um jeito mais elaborado, um em relação ao outro, e não apenas ambos em relação à Terra.

A aplicação da aula iniciou-se com um desenho no quadro, que continha a Terra no centro, um círculo em volta dela com o desenho do Sol e um círculo mais externo, ainda centrado na Terra, mas com um raio maior e cheio de estrelas (a esfera celeste, segundo a representação aristotélica). Pedi-lhes ajuda para escrever no círculo com as estrelas desenhadas os “signos” do zodíaco, em ordem. O desenho ficou semelhante à Figura 3.2, também disponível no Apêndice I. Perguntei aos alunos se eles sabiam quais eram seus signos, e a maioria deles demonstrou que sim. A seguir, perguntei a eles se eles sabiam o que

era um signo do zodíaco, e todos demonstraram que não. Perguntei, então, se eles sabiam que um signo está relacionado a uma constelação. Alguns sabiam desse fato, e citaram como referência de seus conhecimentos um desenho animado conhecido como “Cavaleiros do Zodíaco”, que aborda questões pertinentes ao assunto. Antes que eu tivesse a iniciativa de tocar no assunto, os alunos me questionaram coisas do tipo “o que é câncer?” ou “o que é sagitário?”. Expliquei-lhes então o que eram constelações e que as constelações foram “inventadas” para o reconhecimento das estrelas no céu, e que o critério era como ver desenho em nuvens: ligando as estrelas como pontos, era possível ver desenhos imaginários, e esses desenhos deram nome também às constelações do zodíaco. A constelação de Leão, por exemplo, possui esse nome, pois achou-se, num certo momento da história, que aquele conjunto de estrelas era parecido com o desenho de um leão. Os alunos se mostraram bastante impressionados com a simplicidade desse critério.

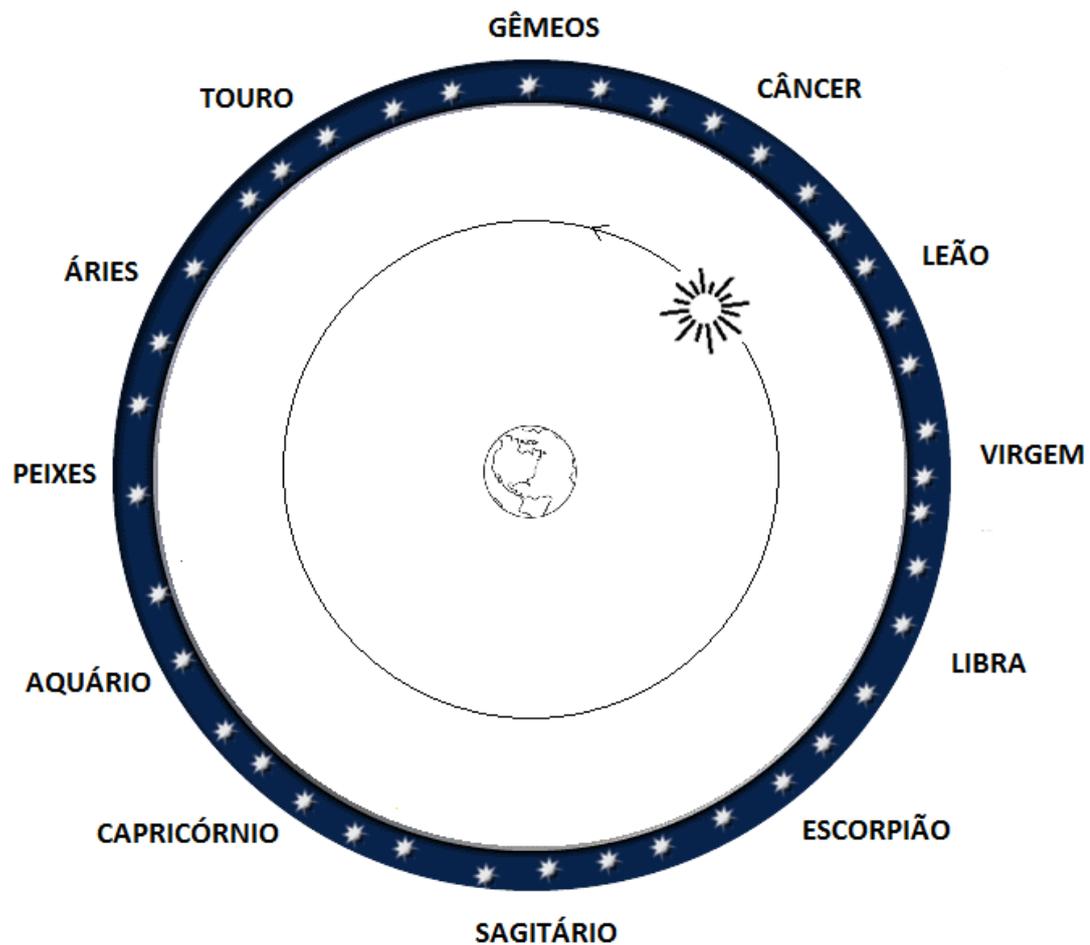


Figura 3.2: Representação das constelações do zodíaco sob a perspectiva geocêntrica. Fonte: Elaborada pela autora

Mostrei-lhes, então, que a constelação referente ao que se considerado “signo do zodíaco” de uma pessoa era aquela que estava atrás do Sol no dia de seu nascimento. Ao longo de um dia, as estrelas girariam em torno da Terra acompanhando o movimento do Sol, e a constelação referente ao signo regente daquela época não estaria visível no céu noturno. Perguntei-lhes, então, se, passado um mês, o signo regente teria mudado, ao que todos responderam afirmativamente. Mostraram saber que os signos têm um período certo de regência e que segue um ciclo anual, que se repete. Assim, mostrei, no desenho do quadro, que se a constelação de Touro estivesse “atrás do Sol” em uma certa data (fim de Abril ou começo de Maio), daí a um mês a constelação que estaria atrás do Sol seria a constelação de Gêmeos. Perguntei-lhes por que, ao que um aluno respondeu que as velocidades com que o Sol e a esfera celeste giram são diferentes, o que considerei uma excelente demonstração de entendimento, sob a perspectiva do modelo geocêntrico, até então abordado. Alguns alunos fizeram perguntas sobre características de personalidade relacionadas ao zodíaco. Expliquei-lhes a diferença entre Astronomia e astrologia, desfazendo algumas concepções alternativas existentes, e revestindo o estudo dos astros de um caráter científico.

3.4 Aula 4: Atividade em dupla

A próxima etapa será a realização de uma atividade em dupla pelos alunos, disponível no Apêndice I, que se divide em duas questões e exige uma reflexão sobre como é possível utilizar o movimento aparente dos astros para medir o tempo. A primeira questão traz uma letra de música que fala sobre o tempo e seu poder em curar feridas emocionais. Para isso, o compositor cita o movimento de rotação da Terra. É importante que os alunos percebam que é simples e usual entender e expressar a passagem do tempo através do movimento dos astros. Esta é uma atividade que exigirá dos alunos uma transformação intensa do conteúdo até então abordado, pois lhes solicitará que façam uma conexão entre o movimento de rotação da Terra e o aparente movimento de rotação que se observa no Sol e nas estrelas.

A segunda questão se apresenta como forma de uma problemática, na qual os alunos devem elaborar um esquema para medir a passagem do tempo, confinados em um reality show, sem relógios, papel ou caneta. Pretende-se, com isso, causar uma reflexão crítica nos alunos sobre a utilidade de se conhecer o movimento dos astros. A descrição precisa destes permite-nos prever seus “próximos passos”, de forma que, sendo tão ordenados, possam servir como marcação para o tempo. A atividade foi planejada para ser feita em dupla para que, conversando entre si, os alunos possam explorar mais sua criatividade e suas ideias possam se complementar, ao que possam se auxiliar mutuamente na busca pela solução do

problema. Além da problemática gerada, o registro escrito das respostas dos alunos permitirá ao professor avaliar se a sequência está surtindo resultados positivos na compreensão dos conceitos iniciais sobre observações astronômicas.

Nos minutos finais da aula, sugere-se a aplicação de mais duas questões, disponíveis no Apêndice I, de múltipla escolha justificada, a fim de se acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem sobre a periodicidade no ciclo dos astros. A primeira aborda a forma como podemos mensurar a passagem do tempo olhando para o céu, questionando qual destes, dentre Lua, Sol, estrelas e nuvens não seria um bom parâmetro. A segunda questão é composta pela Figura 3.3 de um relógio de Sol com os números ocultados, solicitando aos alunos que façam a leitura das horas, para investigar se eles compreendem o princípio do funcionamento do deste instrumento de medida de tempo.

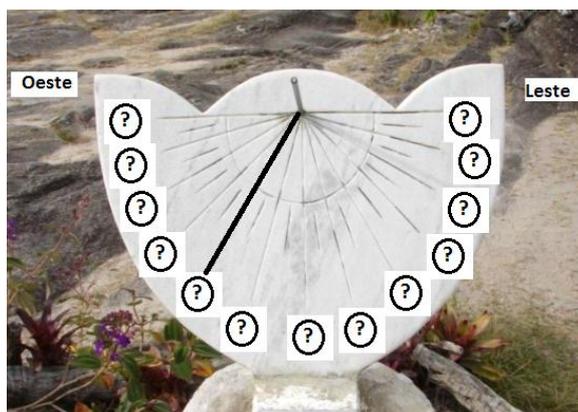


Figura 3.3: Relógio de Sol com os números ocultados. Fonte: Elaborado pela autora.

A aula foi dedicada à realização da atividade em dupla planejada, para a qual se formaram, também, alguns trios. A atividade consistia de duas questões bem elaboradas que exigiriam bastante atenção, assim como uma reflexão profunda acerca dos conhecimentos adquiridos nas duas aulas anteriores. Os alunos fizeram muitas perguntas, as quais esforcei-me para não lhes dar as “respostas certas”. Eles tiveram dificuldade de interpretação e tive que explicar o que era para ser feito em cada questão detalhadamente e por diversas vezes.

Ainda assim, realizaram de maneira satisfatória a tarefa, com um grau de disciplina muito bom. A segunda questão interessou bem mais aos alunos do que a primeira, pude observar as duplas e trios discutiram as ideias entre eles, buscando uma solução real para o problema. Quando lhes expliquei a problemática da segunda questão, que era acerca de como medir o tempo confinado em um reality show, um aluno alegou que num reality show, conhecido como “Big Brother”, havia um relógio para os participantes verificarem as horas.

Rapidamente outro retrucou, dizendo que em outro programa, conhecido como “A Fazenda”, não havia relógio para os participantes, e que já havia visto, inclusive, um participante fazer um aparato semelhante ao que foi requerido deles para medir o tempo utilizando-se do movimento do sol. Considerarei os comentários positivos, por mostrarem que a problemática criada estava dentro do contexto dos alunos, que eles a compreenderam e também se interessaram em buscar uma solução.

Nos 15 minutos finais da aula, foi aplicado um segundo questionário aos alunos, com questões sobre como podemos mensurar a passagem do tempo olhando para o céu e sobre como funciona o relógio de Sol, cujos resultados, que serão discutidos no Capítulo 4, contribuíram para a elaboração da tarefa da aula seguinte, sobre como utilizar os astros para medir a passagem do tempo.

3.5 Aula 5: Usando os astros para medir o tempo

Para esta aula foi planejada uma atividade que pretende auxiliar os alunos a construir um modelo mental que solucione de maneira satisfatória a problemática da atividade anterior, que consistia em construir um relógio de sol. Continuaremos explorando o movimento de rotação da Terra, porém ainda a partir da perspectiva geocêntrica. Durante o dia, vê-se o Sol correr. Durante a noite, quando o Sol se põe, no entanto, outros astros aparecem no céu, que são as estrelas, e elas também se movimentam ao longo de uma noite. Por isso, desenvolveu-se uma tarefa no qual os alunos irão explorar o movimento aparente dos astros para medir o tempo. Para realizar essa atividade, os alunos vão utilizar uma lanterna, que pode ser do celular, para simular a luz do Sol e o lápis para projetar uma sombra que irá correr conforme corre o ponteiro de um relógio na atividade proposta no Apêndice I. Na primeira parte, o farão usando o Sol, simulado pela lanterna, que irão correr sobre a Figura 3.4, e os auxiliará a compreender o princípio do funcionamento de um relógio de sol.

A segunda parte da tarefa, que consiste em construir um modelo que permita utilizar o movimento das estrelas para continuar medindo o tempo ao longo da noite. Pode-se explicar esfera celeste se movimenta ao longo de uma noite de maneira semelhante ao Sol, e com isso as horas podem ser marcadas à noite pelo nascimento de determinadas constelações. As constelações vão aparecendo com o correr da noite e é possível utilizar seu surgimento para marcar as horas, de acordo com o instante de seu aparecimento. Mas não só isso. Caso não se conheça as constelações que estão no céu, é possível observar durante a noite uma determinada constelação que apareça quando o Sol se põe, e acompanhar o seu movimento ao longo da noite.

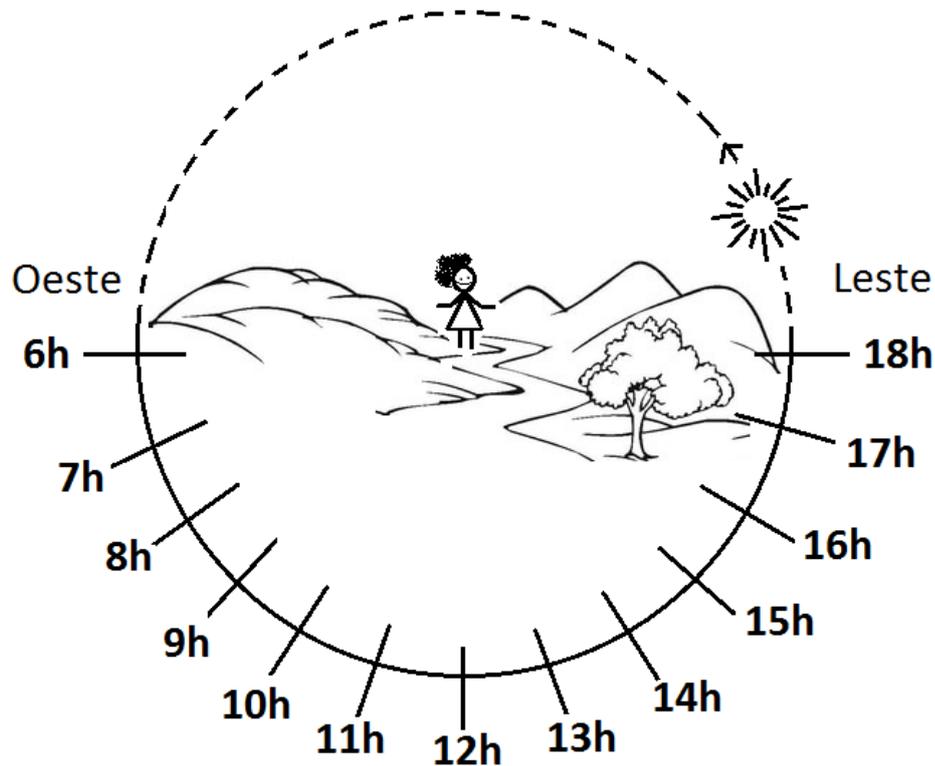


Figura 3.4: Princípio do relógio de sol. Fonte: elaborada pela autora

A ideia de escolher um certo grupo de estrelas que apareça no instante em que o Sol se põe, pois esta estará visível (aproximadamente) a noite inteira. A partir da sua posição no céu, é possível determinar as horas de maneira muito semelhante à que se faz com o Sol. Porém, nesse caso, como a luz das estrelas não é intensa o suficiente para projetar nenhuma sombra, é necessário então apontar para essas estrelas, traçando uma reta imaginária a partir da sua localização até a localização dessas estrelas na esfera celeste, pois essa reta imaginária vai correr da mesma forma que corre o ponteiro do relógio. Assim, a segunda tarefa solicita aos alunos que desenhem como eles fariam para utilizar as estrelas para medir o tempo ao longo da noite, explicando o seu desenho.

A aula consistiu na aplicação da atividade planejada, que auxiliava os alunos a compreender como é possível medir o tempo através do movimento dos astros como o sol e as estrelas. Primeiramente, foi lida com eles a questão que continha uma figura, pedindo que eles simulassem a luz do sol com uma lanterna e projetassem a sombra usando o lápis, conforme corriam a lanterna sobre a curva que representava a abóboda celeste na figura. Expliquei-lhes detalhadamente o que a questão pedia para que pudessem realizar a tarefa. Enquanto esperava para que todos pudessem realizar a tarefa, alguns terminaram e já começaram a me questionar sobre a tarefa seguinte. Após todos os alunos terem realizado a primeira tarefa, lembrei-lhes

de como nós observamos o movimento aparente das estrelas o longo de uma noite, e que, assim como o Sol, as estrelas correriam a abóboda celeste. Expliquei-lhes que uma constelação que aparecesse a Leste no momento do pôr-do-sol, estaria visível a noite toda, pois levaria em torno de 12 horas para se por a Oeste, e por isso poderia ser um bom parâmetro para se acompanhar o correr das horas, traçando-se um ponteiro imaginário. Todos realizaram a tarefa e me entregaram para analisar os resultados.

3.6 Aula 6: Construção de um relógio de Sol que marca o tempo civil

Esta aula foi planejada para se fazer uma transição do modelo geostático para o modelo em que a Terra rotaciona. Como observamos o movimento a partir do referencial da Terra, nossa perspectiva é geostática. Pretende-se mostrar, sob as duas perspectivas, como opera um relógio de Sol. Para isso, planeja-se então utilizar uma maquete feita com uma bola de isopor representando Terra e um mini relógio de sol preso a ela, e uma lâmpada ou lanterna apontada para a Terra, representando a luz do Sol. Girando a Terra lentamente, será possível mostrar que a projeção da sombra da haste do relógio de sol gira junto com a Terra, e esse é o princípio básico do seu funcionamento. Após isso, planeja-se discutir com os alunos a questão do tempo civil e do tempo solar e para isso vamos construir um relógio de sol. Porém é importante lembrar que o relógio de sol não vai marcar exatamente a hora que o aluno vai ver no relógio de pulso (ou do celular) dele. Isso porque o tempo civil é diferente do tempo solar. A princípio, espera-se que o relógio marque o meio-dia quando o Sol está no ponto mais alto de sua trajetória no céu. Porém, isso não vai acontecer de fato, porque nosso tempo é marcado e compartilhado em várias regiões estados do território brasileiro de acordo com a hora oficial de Brasília. Isso quer dizer que uma pessoa no Pará e uma pessoa no Recife vão marcar a mesma hora no relógio, porém para essas pessoas o Sol estará, naquele mesmo instante, em posições diferentes no céu, marcando, portanto, horários diferentes nos relógios de Sol, que se utiliza dos astros.

Para entender porque isso acontece, será necessário introduzir o conceito de fuso horário. Isso vai permitir ao aluno entender porque um horário que é igual para todos no relógio de pulso (nos relógios civis) vai ser diferente do que se mede com os astros. E a partir daí então nós poderemos construir um relógio de sol junto com a turma que seja adaptado para marcar não o tempo solar, mas sim o tempo civil. Um texto de apoio sobre fusos horários e o tutorial para a construção do relógio encontram-se no Apêndice I. Para isso deve ser feita uma correção que leva em consideração a longitude do local onde se pretende instalar o relógio. E a diferença desse valor com relação ao valor atribuído à longitude do meridiano

central do fuso, que é aquela localização onde a hora legal (tempo civil) corresponde ao tempo solar. Qualquer desvio longitudinal a Leste ou a Oeste com relação a esse meridiano central do fuso irá causar um adiantamento ou um atraso no relógio solar. Se a cidade estiver a Leste, o seu relógio solar estará adiantado em relação ao tempo civil. Se a cidade estiver a Oeste, então o relógio solar estará atrasado em relação ao tempo civil. Para fazer essa correção deve-se então somar ou subtrair 4 minutos de tempo a cada um grau de variação a Oeste ou a Leste em relação ao meridiano central do fuso. Para isso foi elaborado um tutorial com o passo a passo da construção do relógio e também um tutorial de uma maquete. Será interessante utilizar uma maquete também do planeta Terra para mostrar, não a partir da perspectiva geocêntrica, mas do ponto de vista da rotação da Terra, porque o relógio solar marca a hora da maneira que o faz. O professor necessitará de uma lanterna para simular a luz do Sol, para mostrar então aos alunos, a partir da perspectiva da rotação da Terra como funciona o relógio de sol e como funcionam os fusos horários. Assim sendo, planeja-se, ao final da aula, construir, junto com a turma, um relógio de sol que marque o tempo civil para a sua cidade, conforme tutorial disponível no Apêndice I.

A aula iniciou-se com o relógio de Sol ainda como foco do estudo, buscando uma transformação de referencial numa abordagem conceitual. Buscando explicar o funcionamento do relógio a partir da rotação da Terra, em contraposição à perspectiva geocêntrica, utilizei uma esfera, preferencialmente de isopor, na qual tracei os paralelos e meridianos da Terra. Atravessando-se essa esfera com um palito de churrasquinho, fiz o eixo Norte-Sul. Construí relógios de sol em miniatura, com cartolina, para encaixá-los à esfera com alfinetes, na direção Leste-Oeste e mostrar seu funcionamento conforme a Terra gira. Com uma lâmpada apontada para a esfera, foi possível representar o Sol e assim, ao girar lentamente a esfera, foi possível mostrar aos alunos a projeção da sombra do relógio de sol correr das seis da manhã às seis da tarde, conforme a esfera girava (Figura 3.5). Nesse momento, não evidenciar a inclinação do eixo da Terra, para não complicar essa primeira visualização e evitar suscitar a questão acerca da duração variável do dia ao longo de um ano. Nosso relógio simples, a princípio possui exatamente doze horas, e conta com o fato de que o dia amanhece aproximadamente às seis horas e escurece aproximadamente às 18 horas.

Daí, então, abordamos a seguinte problemática, através do exemplo: Imagine uma pessoa que mora no Recife e é militar. Um belo dia, essa pessoa é transferida para uma cidade no Pará, já quase na divisa com o estado do Amazonas. Então ele passa a relatar que se sente muito cansado ao acordar. Sente que ainda está muito escuro e fica indisposto. Mas ele

continua acordando no mesmo horário de sempre. Um dia, então, conversando com sua família por *Skype* (um espécie de chamada de vídeo), ele observa que em Recife já anoiteceu, sendo que, pela sua janela, ele ainda vê o dia claro. Questionei aos alunos se é possível que em um lugar possa amanhecer ou anoitecer antes do outro, se eles olham no relógio e veem a mesma hora. Eles ficaram confusos e não souberam responder, mas se mostraram bastante interessados. Para responder essa questão, tive que explicar o que são os fusos horários.



Figura 3.5 Esfera representando o globo terrestre com um mini relógio de sol girando sob a luz de uma lâmpada. Fonte: elaborado pela autora

Para facilitar a visualização de como a coisa acontece, recorri novamente à esfera de isopor, riscando nela 24 meridianos, que delimitam as faixas dos fusos, usando uma cor diferente, pode-se riscar mais 24 meridianos, dividindo em dois as fatias já feitas. Chamando-se um desses riscos de Greenwich, os outros da mesma cor serão os meridianos centrais de seus respectivos fusos. Encaixei, em seguida, dois relógios na esfera, nas extremidades opostas de uma mesma faixa de fuso. Girando lentamente a esfera, foi possível observar que essas regiões marcam horas diferentes, e isso se deve à diferença na longitude. Expliquei-lhes que, fruto de tratados políticos, surgiram os fusos horários, criando os conceitos de tempo solar, marcado pela posição do sol, e de tempo civil, marcado, normalmente, pelo meridiano central do fuso em questão. A princípio o nosso relógio de Sol é o mais simples possível, começa a medir o tempo às 6h da manhã com o nascer do Sol, e para de medi-lo às 6h da tarde, quando o Sol se põe. Porém, ocorre que, dependendo do lugar onde esse relógio for montado, a hora marcada pelo Sol pode não corresponder à hora marcada pelos relógios convencionais (por exemplo, a hora marcada pelo seu celular). Isso acontece porque o tempo civil é diferente do tempo solar.

Mostrei-lhes mundo dividiu-se em faixas onde se combinou marcar o mesmo horário para todos, chamadas fusos. Assim, as únicas cidades que marcarão o meio-dia solar ao mesmo tempo em que o meio-dia civil são aquelas que estiverem sobre o meridiano central do fuso. As outras cidades poderão ter um atraso ou adianto de até meia hora com relação ao tempo solar. Levando em consideração que, em grande parte das vezes, os fusos são determinados por fronteiras geográficas, podendo avançar para além das faixas que os delimitariam, então esse atraso ou adianto pode ser ainda maior. Expliquei-lhes que para calcular a diferença entre a medida do tempo solar e a medida do tempo civil, deve-se levar em consideração a longitude do local onde se deseja instalar o relógio de Sol. Assim, para que entendessem melhor a questão, entreguei a cada um dos alunos um mapa do Brasil com a demarcação dos meridianos centrais os fusos, assim como as fronteiras das faixas que compartilham a mesma hora civil.

Mostrei-lhes que, como o círculo determina um ângulo de 360° , cada faixa de uma hora possui 15° . A cada 1° que a Terra gira, passam-se 4 minutos. A distância em graus é medida a partir do meridiano de referência de Greenwich, e é conhecida como longitude. Assim, a cada 1° que se estivesse a leste do meridiano central, o amanhecer se daria 4 minutos mais cedo, e a cada 1° de longitude a leste do meridiano central, o amanhecer se daria 4 minutos mais tarde.

Ao fim da aula, construímos juntos um relógio de sol ajustado ao tempo civil, rotacionando-o conforme a longitude local. Adaptamos o relógio à longitude da cidade de Petrópolis, onde o tempo solar é quase 8 minutos adiantado em relação ao tempo civil. Os materiais utilizados foram um transferidor, papelão, cola e caneta para riscar as marcações.

Alguns alunos fizeram perguntas sobre o horário de verão. Uma vez que o assunto da próxima aula seria a translação da Terra, e com isso seria possível entender, em termos astronômicos, o que é o verão, aproveitei para lançar a dúvida. O horário de verão existe porque os dias no verão (e na primavera) são mais longos que a noite, em nossa região, Sudeste. Assim sendo chamei-lhes atenção para o fato de que era necessário entender o tempo em ciclos mais longos, para além da rotação da Terra, se quiséssemos entender esse fato.

3.7 Aula 7: A dança dos astros

Esta aula foi planejada para se ensinar aos alunos um modelo explicativo do sistema solar, descrevendo os movimentos da Terra e da Lua, e alguns fatores que esses movimentos implicam em nossas vidas. Planeja-se correlacionar a perspectiva desses movimentos a partir do referencial geostático com a perspectiva do referencial externo, que enxerga a Terra em

movimento. A partir daí, espera-se tornar possível ao aluno visualizar as causas dos movimentos aparentes dos astros (os que ele observa da Terra) a partir de um referencial externo ao planeta. Para fazer a transição do modelo geocêntrico, até então estudado, para o modelo heliocêntrico do nosso sistema solar, teremos que abordar o movimento de translação da Terra. E uma forma como enxergamos esse movimento é devido à duração dos dias que se transforma ao longo do ano. Muitos sabem que o inverno tem os dias mais curtos e o verão tem os dias mais longos, e isso irá se justificar, não pela rotação, mas pela translação. Para facilitar a compreensão e a visualização desses movimentos, recomenda-se a utilização de pequenas esferas para simular a Terra (e posteriormente também a Lua). Foi planejado utilizar-se uma lâmpada para representar o Sol e assim, levando os alunos a um lugar escuro, seria possível mostrar os motivos pelos quais acontecem o dia e a noite, as fases da Lua, e, ainda, a variação da posição das constelações do zodíaco ao longo de um ano.

Esse arranjo experimental permitirá mostrar, no movimento de translação da Terra, os solstícios e equinócios, discutir as estações do ano, mostrando como varia a duração do dia e da noite. Permitirá mostrar também o movimento de translação da Lua em torno da Terra, para explicar porque esse movimento não está em consonância com nenhum outro. Evidenciar como acontecem as fases da Lua, e atentar para o fato de que o ciclo de translação da Lua é independente do ciclo da Terra e por isso ele segue em tempo diferente do que se mede nos ciclos da Terra.

Para trabalhar também o ciclo anual das estrelas, sugere-se imprimir as constelações do zodíaco disponíveis no Apêndice II, uma em cada folha. Daí pode-se solicitar doze alunos para participarem, colando em suas barrigas as constelações, com fita adesiva. Fechando-os em círculo, na ordem correta, e o professor se abaixando no meio, com a lâmpada, basta girar um pequeno globo em torno da lâmpada, para mostrar que as constelações do zodíaco são aquelas que estão atrás do sol ao longo da translação da Terra.

Destacar o tempo de duração de cada um desses movimentos é interessante pois isso irá introduzir o assunto da próxima aula, que será sobre a história do nosso calendário e das medidas de tempo a longo prazo. Esse poderá ser um prelúdio de que as medidas de tempo em nosso calendário surgiram da precisão periódica dos movimentos dos astros que estudamos em nossa aula.

O cumprimento desta aula teve como objetivo descrever, do ponto de vista heliocêntrico, os movimentos que observamos os astros executarem no céu. Para isso, levei os alunos até uma sala de aula que continha janelas que podiam ser fechadas com o propósito de

escurecer a sala. Comecei a aula lembrando-lhes que nossa abordagem inicial (anterior) foi simplificada e buscou atribuir um significado de observação científica a fenômenos que já eram conhecidos por todos, como o nascer do Sol fazendo amanhecer e o pôr-do-sol marcando o anoitecer. Atribuímos ao instante do amanhecer o horário de 6 horas e o anoitecer às 18 horas. Tendo como esses dois instantes os marco conhecidos de tempo, foi possível subdividir as medidas de dia e noite. Uma vez que o movimento aparente dos astros segue uma trajetória com velocidade (aproximadamente) constante, e todos os dias são quase iguais (numa abordagem simplória), foi possível fracionar as medidas de tempo utilizando-se a posição dos astros para isso. Porém, o movimento translação da Terra faz com que a duração do dia seja diferente para os diferentes dias do ano, atingindo sua duração máxima e mínima nos solstícios de verão e inverno, respectivamente. Assim, fez-se necessário considerar e entender esse efeito que ocorre com o passar das estações. Destaquei, então, um ponto importantíssimo: essa variação não é aleatória e também segue um ciclo. Após aproximadamente 365 dias, o Sol volta a fazer um movimento idêntico no céu. Há, portanto, uma periodicidade a ser observada aí. Para compreender essa periodicidade é necessário, portanto, entender o movimento de translação da Terra.

A problemática irá se iniciou abordando a questão do Sol da meia-noite. Perguntei aos alunos se eles já ouviram falar no Sol da meia-noite, se eles sabiam o que era isso, e se acreditavam que podia ser verdade. Se existe um lugar onde faz Sol à meia noite, que lugar é esse? E por que isso acontece? Para responder essas perguntas, recorri novamente às esferas de isopor, agora considerando seu eixo inclinado. Mostrei-lhes a esfera de isopor na posição vertical que até então tínhamos trabalhado, em comparação a um modelo globinho comprado pronto, com a devida inclinação no eixo da Terra. Só então eles se deram conta de que não havíamos considerado a inclinação do eixo da Terra até o momento. Usando uma lâmpada para simular a luz do Sol, mostrei a eles, então, que, quando o círculo polar Ártico está voltado para o Sol, é início do verão no hemisfério Norte e o dia será iluminado por 24 horas.

Para fazer um relógio de Sol nessa região, apenas cortei um disco, fiz marcações das 24 horas nele, e o atravessei (no centro) pelo palito de churrasco que representa o eixo Norte-Sul. O próprio palito serviu como ponteiro e, com uma lanterna, foi possível mostrar a sombra projetada pelo palito correr as 24 horas do relógio ao se girar lentamente a esfera (Figuras 3.6 e 3.7).



Figura 3.6 Esfera representando o globo terrestre com um mini relógio de sol no extremo Norte girando sob a luz de uma lâmpada. Fonte: elaborado pela autora



Figura 3.7 Professora apresentando à turma a esfera representando o globo terrestre com um mini relógio de sol no extremo Norte girando sob a luz de uma lâmpada. Fonte: elaborado pela autora

Uma questão, então, foi levantada: qual a duração do dia e da noite? A princípio, tínhamos tomado por base que o dia dura 12 horas, mas vimos que em regiões próximas ao pólo o dia pode durar até 24 horas. Para responder à pergunta, comecei falando sobre as

características mais conhecidas das estações, que são perceptíveis a eles e, assim, fazendo uma tabela no quadro que foi preenchida com a ajuda dos alunos, contrapondo as características mais notáveis do verão e do inverno e ela ficou com o seguinte aspecto:

Tabela 3.1: Comparação entre inverno e verão

VERÃO	INVERNO
Dia mais longo que a noite	Noite mais longa que o dia
Amanhece mais cedo	Amanhece mais tarde
Anoitece mais tarde	Anoitece mais cedo

Um novo questionamento, então, foi levantado, lembrando-lhes suas perguntas da aula anterior: O que é o horário de verão? Para que serve? Dei-lhes a informação de que em 2016, o horário de verão brasileiro começou no dia 16 de outubro, data em que os relógios deveriam ser adiantados em uma hora nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O horário vigorou até o dia 19 de fevereiro de 2017. E perguntei-lhes novamente: qual é o critério de escolha dessa data?

Lembrando que o ciclo anual é o tempo de translação da Terra, trabalhamos esse movimento para explicar como e porque a duração do dia varia. Voltamos a utilizar a esfera de isopor, agora posicionando-a com a devida inclinação de seu eixo. Foi utilizada uma lâmpada, alimentada por um bocal preso a uma extensão de fio comum, para simular a luz do Sol. Nesse momento, fechei as janelas, escurecendo a sala, para que nosso Sol em miniatura pudesse brilhar majestoso na sala, à semelhança do que ocorre no espaço. Circulado com a esfera ao redor da lâmpada, foi possível mostrar como varia a fatia iluminada ao longo do ano. Assim, foi fácil mostrar que, quando o hemisfério Sul está voltado para o Sol, é verão no Brasil. E quando o hemisfério Norte está voltado para o Sol, é inverno por aqui. Foi possível mostrar as posições que marcam o início de cada estação, definindo o que são os solstícios e equinócios. Construímos, em seguida a seguinte tabela no quadro, para complementar o que foi mostrado na esfera.

Tabela 3.2: Comparação entre as quatro estações

Estações	INÍCIO	DURAÇÃO DO DIA	DURAÇÃO DA ESTAÇÃO
VERÃO	Solstício (dia mais	Diminuindo	21 DEZ a 21 MAR

	longo do ano)		
OUTONO	Equinócio (dia igual à noite)	Diminuindo	21 MAR a 21 JUN
INVERNO	Solstício (dia mais curto do ano)	Aumentando	21 JUN a 23 SET
PRIMAVERA	Equinócio (dia igual à noite)	Aumentando	23 SET a 21 DEZ

Com a tabela montada, ficou evidente o critério utilizado para o início e o fim do horário de verão: no início da primavera, o dia dura o mesmo que a noite, mas o amanhecer se adianta a cada dia, e os dias vão se tornando mais longos, atingindo seu ápice de duração na transição entre a primavera e o verão. Ao longo do verão, os dias voltam a encolher, de forma que o último dia do verão (transição para o outono) tem apenas doze horas de duração. Adiantando uma hora no relógio, o anoitecer ocorre mais tarde e tem-se luz natural do dia no horário de pico, o que reduz o consumo energético do país.

Questionei, então aos alunos: por que o horário de verão não existe para as regiões Norte e Nordeste? Eles demonstraram desconhecer o fato. Expliquei-lhes, então, que para quem mora sobre a linha do Equador, os dias têm sempre doze horas de duração. Mas a trajetória que o Sol descreve no céu varia ao longo do ano, desviando seu arco na direção Norte-Sul. Foi mostrado esse efeito novamente na esfera de isopor, com destaque a essa região. Como as regiões Norte e Nordeste envolvem a linha do Equador, não faria sentido um horário de verão lá, pois essas regiões estão em uma faixa em que a duração do dia não irá variar consideravelmente ao longo do ano.

Com a abordagem feita, até aqui, vimos que os movimentos aparentes dos astros se devem, na verdade à perspectiva de observação a partir de um referencial girante (a Terra), e aproveitei para destacar que a translação será perceptível nas mudanças que vemos dia após dia, por exemplo, no movimento do Sol no céu. Outro exemplo de mudança pode ser percebido na variação do céu noturno, já que algumas constelações só são visíveis em certas épocas do ano. Retomei, aqui, o tema das constelações do zodíaco, para mostrar o que elas são, do ponto de vista heliocêntrico, e que não é um acaso que seu ciclo está em consonância com a translação da Terra. Para isso, desenvolvi uma atividade prática com eles. Foram impressas, em folhas separadas, as doze constelações do zodíaco. Colei-as com fita adesiva na barriga de doze alunos.



Figura 3.8 Alunos com constelações do zodíaco coladas na barriga. Fonte: elaborado pela autora



Figura 3.9 Alunos com constelações do zodíaco coladas na barriga, fechados em círculo, com uma lâmpada no meio representando o Sol e um globo girando em torno dele. Fonte: elaborado pela autora

Fechando-os em um círculo, abaixei-me abaixar no meio deste círculo com a lâmpada acesa (representando o Sol) e girei o globo terrestre ao redor da lâmpada, mostrando que as constelações do zodíaco são aquelas que se localizam “atrás do Sol” ao longo de um ano. Todos eles entenderam numa velocidade surpreendente. Conforme eu ia percorrendo a órbita da Terra com o globo, os alunos iam dizendo qual seria o signo zodiacal da pessoa que

nascesse naquela data. Eles gostaram de participar da atividade, um fato curioso foi que a maioria dos estudantes que participou da brincadeira fez questão de usar em sua barriga a constelação referente ao seu próprio signo do zodíaco (Figuras 3.8, 3.9 e 3.10).



Figura 3.10 Alunos com constelações do zodíaco coladas na barriga, fechados em círculo, com uma lâmpada no meio representando o Sol e um globo girando em torno dele. Imagem aproximada. Fonte: elaborado pela autora

Para dar desfecho à construção do modelo heliocêntrico, que se baseia em órbitas para descrever nosso sistema solar, lembrei-lhes que há um astro, no entanto, que parece não seguir nenhum desses dois padrões apresentados até então, que é a Lua. Mostrei-lhes, recorrendo-se à maquete inicial, onde a lâmpada (ou lanterna) é o Sol e a esfera de isopor é a Terra, que a Lua (representada por outra esfera de isopor menor) gira em torno da Terra em um movimento independente, e que seu ciclo tem uma contagem diferente: ela possui quatro fases, cada fase durando em torno de uma semana e seu ciclo se completa em aproximadamente 29 dias. Uma vez que apenas metade da Lua estará iluminada pelo Sol, pinteí metade da “Lua” de preto, para representar a sombra. Girando lentamente a bolinha, foi possível visualizar, nas quatro fases, como a Lua muda seu aparente formato.

Ao final, questioneí a eles quanto tempo duravam os ciclos astronômicos, ao que eles foram respondendo com as medidas a que seus movimentos, de fato, deram origem como semana, mês, ano e dia. Disse-lhes que, historicamente, os movimentos dos astros tinham originado essas medidas de tempo e que iríamos entender como isso se deu na aula seguinte.

A aula foi extremamente produtiva, os alunos participaram muito, e pareceram satisfeitos em ver sentido nos movimentos que conheciam muito bem de nome, mas eram, em sua maioria, incapazes de perceber a partir de suas observações cotidianas.

3.8 Aula 8: O tempo a longo prazo: calendários astronômicos

O objetivo desta aula é mostrar aos alunos como os movimentos dos astros do sistema solar deram origem às nossas medidas de tempo. A rotação da Terra determina o dia, fatiado em horas e sua translação determina um ano. Já a translação da Lua deu origem à medida de mês, e cada fase deu origem à semana, cujos dias foram nomeados a fim de se homenagear 7 astros conhecidos à época: Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, como mostrado na aula sobre modelo aristotélico. Para dar maior embasamento às afirmações, o professor pode fazer uma construção histórica da nossa contagem do tempo, como eram alguns calendários antigos e como evoluiu o calendário romano até culminar no que é o nosso calendário hoje e que se espalhou pelo ocidente e além, padronizando a forma de medir o tempo em grande parte do globo. Dando ênfase ao fato de muitos desses calendários serem lunissolares, será apresentada a origem da contagem de mês, dia, ano e semana, para que os alunos entendam o propósito a que se destinou o conhecimento em astronomia nas sociedades antigas: a medida precisa do tempo. Para isso, foi preparado um resumo para ser entregue aos alunos, a fim de que possam acompanhar melhor a aula, no Apêndice I. Espera-se que o aluno compreenda que a medida do tempo para nós é originada pelo movimento dos astros e que suas periodicidades precisas permitiram ao ser humano criar e ajustar relógios e calendários. Este movimento é como um tique-taque universal que nunca atrasa e sua observação gerou a contagem do tempo.

A aplicação desta aula teve caráter expositivo, e foi distribuído aos alunos o material de apoio. A aula se iniciou recordando o assunto da aula anterior, que eram os ciclos astronômicos e seus respectivos tempos de duração. Expliquei-lhes que historicamente, as sociedades antigas desenvolveram a Astronomia em busca de contar precisamente o tempo, pois isso era crucial em questões pertinentes à agricultura e questões administrativas (como a cobrança de tributos).

Primeiramente, expliquei-lhes qual ciclo astronômico tinha dado origem a cada medida de tempo: a rotação da Terra originou o dia, as fases da Lua deram origem à semana; a sua translação, ou o seu ciclo completo, deu origem à medida de mês; e a translação da Terra deu origem à medida de ano. Com base nisso, então, foram criados muitos calendários antigos

lunissolares, ou seja, que se baseavam no ciclo da Lua e do Sol, concomitantemente, compondo um conjunto de medidas de tempo. Esses calendários lunissolares, então, mediam meses que seguiam o ciclo da Lua e o ano seguia o ciclo do Sol, que os alunos demonstraram saber serem ciclos independentes entre si, como visto na última aula. Destaquei para eles alguns calendários antigos, com as datas de seu início ou que foram postos em prática. Expliquei a eles que, como todas as medidas de tempo estavam associadas aos astros, para nomear os sete dias da semana, foram escolhidos os sete astros que se conhecia na época. Falei para eles, então sobre a evolução do nosso calendário, de onde ele veio, e como ele chegou a ser o que é hoje em dia.

O nosso calendário nasceu do calendário romano, e este era mais antigo do que o nascimento de Cristo, e por isso, quando ele se iniciou, os anos não eram contados com a numeração que se conhece hoje por “depois de Cristo”, e sim uma numeração que se contava “a partir da fundação da cidade de Roma”. Nesse calendário, assim como em outros calendários lunissolares o ano não tinha um número certo de 365 dias pois os meses não davam um múltiplo inteiro para completar um ano. Então, o calendário romano, assim como outros lunissolares também tinha um 13º mês intercalar, o que causava bastante desconforto, pois alguns anos tinham doze meses e a cada três anos havia esse 13º mês intercalar.

Foi explicado a eles como esse problema foi sanado pelo imperador Julio Cesar introduzido o ano bissexto, em ciclos de quatro anos, e fazendo o ano então ter 365 dias. Essa mudança no calendário acabou causando uma mudança na data vigente à época, que foi chamado de “Ano da Confusão”.

Após a introdução do ano bissexto, então, expliquei-lhes que houve mais uma mudança no calendário romano, no qual se instituiu a numeração “depois de Cristo”. A essa altura já seriam passados mais de 500 anos do nascimento de Cristo e o ano que era medido como sendo 1280 “a partir da fundação de Roma” passou a ser o ano de 527 “depois de Cristo”.

Destaquei que a última transformação que o calendário sofreu foi um pequeno ajuste, pois o ano não tem exatamente 365 dias e seis horas, ele tem um pouquinho menos e o que aconteceu foi que depois de mais de 1000 anos de vigência do calendário, a Páscoa antecipou-se em dez dias. Na verdade, essa pequena diferença, a cada 128 anos representava a diferença de um dia, e ao longo da história isso se fez relevante. Então a última regra para o nosso calendário foi criada, que seria um ajuste para o ano bissexto: os anos múltiplos de 100 não

seriam bissextos, à exceção dos múltiplos de 400. Nesse momento, chamei a atenção deles para o fato de que é preciso um registro exato feito ao longo de muitas gerações para se perceber um erro desse. Que a origem dos calendários é milenar, assim como a Astronomia. E foi esse conhecimento acumulado ao longo do tempo que permitiu ao homem medir precisamente o tempo dos ciclos astronômicos, a ponto de fazer correções tão precisas como esta. Quando chamei atenção aos alunos que essa correção foi feita séculos atrás, alguns se perguntaram como poderiam as pessoas terem esse conhecimento em épocas tão remotas. Outros se questionaram como poderiam eles mesmos não saberem dessas coisas.

Para elucidar o porquê de a Páscoa ter sido o pivô da mudança, expliquei para os alunos como essa data está associada à conjunção de eventos astronômicos. E, por fim, a aula foi encerrada com a leitura de um texto da fala de uma pessoa em situação de rua, que relata como e a sua percepção do tempo. E revela não saber a sua própria idade, e não saber também quais são os dias nem da semana, pois ele não tem nenhuma forma de manter um registro da contagem do tempo. O objetivo dessa atividade era buscar uma reflexão sobre o que se faz necessário para que uma pessoa seja capaz de contar o tempo. E fica claro que um registro escrito é algo muito importante. Surpreendentemente, a leitura do texto provocou uma reflexão profunda nos estudantes, que silenciaram, e muitos se mostraram comovidos. O nível de interesse de alguns alunos foi grande, mas da turma, em geral, foi médio.

3.9 Aula 9: outros relógios e a maçã

O objetivo desta aula é mostrar que as leis físicas são as mesmas para todo o Universo, em contraposição ao modelo aristotélico, segundo o qual a Física dos astros seria diferente da Física na Terra. Para isso, sugere-se apresentar os diferentes tipos de relógios que existem e explicar o princípio básico do funcionamento de cada um. A expectativa, com isso, é de se construir um conceito sólido sobre o que é o tempo e quais são as formas de medi-lo em intervalos curtos. Para consolidar a questão da medida do tempo, é aconselhável evidenciar que esta é baseada em movimentos, pois o tempo puro, em si, não é apreciável. O que se consegue apreciar são movimentos periódicos e a partir daí estabelecermos contagens de tempo. Essa aula irá abordar o funcionamento de diversos tipos de relógio, usando uma perspectiva ainda histórica, com a evolução dos conceitos e do conhecimento. Irá se mostrar os primeiros relógios que surgiram, e explicar o funcionamento deles baseados nos tipos de movimento que até então foram estudados, que eram os movimentos explicados no modelo aristotélico. Aristóteles explicava o movimento como sendo natural ou violento e ele se diferenciava na região da Terra pra região do espaço sideral. Um esquema, na Figura 3.11

também disponível no Apêndice I, foi preparado visando à facilitação dessa compreensão. É interessante ressaltar que, segundo esse modelo, a Física na Terra é diferente da Física na região do espaço sideral, para justificar a diferenciação dos tipos de movimento observados em ambas as regiões. E a explicação para os movimentos segundo Aristóteles se baseia no referencial geostático e, após o estudo do referencial heliostático, espera-se que essa explicação não seja convincente para os alunos. A partir daí, então, será possível evoluir para um conceito de gravidade, e mostrar, segundo a gravitação de Newton, conceitualmente, porque todos esses movimentos acontecem.



Figura 3.11: Tipos de relógio segundo seu princípio de funcionamento. Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse momento, então, será possível mostrar que a física para a Terra é a mesma física para as estrelas, e para todo o resto do universo. E essas leis então, passam a ser universais. O cerne da questão gira em torno do fato de que o movimento inercial é o movimento em linha reta, por isso, os astros, ao fazerem movimentos circulares, o fazem devido a uma força e essa força é a força de atração gravitacional. Astros mais leves vão orbitar em torno de astros mais pesados. Nesse momento então, utilizando o exemplo da maçã de Newton, que cai no pé da mesma forma que a Lua cai na Terra, pretende-se explicar o que é uma trajetória orbital. Mostrar que o laço gravitacional é quem aprisiona os corpos celestes nesse movimento (quase) circular eterno. Nesse contexto, destaca-se que esse conhecimento possibilitou o

avanço das telecomunicações, pois hoje em dia a humanidade é capaz de colocar satélites em órbita.

Com essa aula espera-se então consolidar os conceitos acerca do movimento dos astros do sistema solar, com leis que são aplicáveis a todo o restante do Universo e além disso será possível, com essa introdução desse conceito, avançar, posteriormente, para os tempos modernos para entender o movimento dos astros, não só sob a perspectiva de Newton, mas sob a perspectiva de Einstein. Para isso, será necessário entender o espaço como sendo na verdade o espaço-tempo, uma composição dos dois, e curvo, de maneira que esse espaço-tempo determinaria a direção dos movimentos, e em qual direção então os corpos seriam acelerados, que é o caso do movimento orbital.

Neste ponto, então, encerra-se o estudo do tempo clássico. A sequência foi planejada para que pudesse ser, aqui, encerrada ou continuada em sua aplicação. Caso o professor deseje continuar abordando o tema, agora sob a perspectiva da ciência contemporânea, a sequência é seguida de mais quatro aulas, que o permitirão trabalhar o conceito de tempo integrando-o ao espaço, sob a perspectiva da relatividade restrita e, posteriormente, geral. Trata-se de uma abordagem conceitual e o professor poderá, ainda, caso queira continuar com a ciência contemporânea em outro momento posterior, pausar a aplicação da sequência, intercalando-a com estudos de outros assuntos, e no momento do seu interesse, mesmo que em outro ano letivo, retornar à sequência, continuando a abordar a medida do tempo, agora sob a perspectiva da ciência contemporânea, um tempo que já não é absoluto.

É importante, ao final desse ciclo, que o estudante entenda que o tempo é medido através do movimento de algo cíclico, periódico, como movimentos circulares ou oscilações. Dessa forma, o tempo torna-se uma grandeza invisível que serve de parâmetro para comparar os movimentos, ele dá sentido aos conceitos de lento, rápido, acelerado. Pode-se mostrar como os conceitos de tempo e espaço estão enlaçados desde suas concepções clássicas. Pois tudo acontece em algum instante em algum lugar do espaço, e é daí que surge o conceito de evento.

Ao longo da aplicação desta aula, foi abordada a medida do tempo feita por outros tipos de relógio, que não dependem das condições climáticas, no caso, os relógios que utilizamos na superfície do planeta Terra. Esses relógios tiveram seu funcionamento explicado segundo seu tipo de movimento, pois o movimento periódico desses objetos é que permitiu se contar o tempo. E o movimento de cada um deles foi explicado então sob a perspectiva da física aristotélica, que divide o movimento em dois tipos: o natural e o violento. O movimento

natural aconteceria de um jeito diferente nas regiões da Terra (abaixo da Lua) e do espaço acima da Lua. Então o movimento dos astros seria circular e eterno, ao passo que o movimento natural na Terra seria o movimento vertical, fosse na queda livre, fosse em algo que sobe livremente, como o fogo no ar. E então foi buscado mostrar esses relógios seguindo a cronologia de suas criações, para tentar dar uma ideia de como os métodos foram evoluindo com o conhecimento humano. O primeiro tipo de relógio que foi abordado foi os que se baseiam no movimento natural sublunar, que se utilizavam de objetos que permitiam a uma substância escoar e utilizavam-se desse escoamento para fazer graduações com marcações do tempo. O outro princípio de funcionamento de relógio, criado alguns séculos mais tarde, utilizava-se do movimento violento (causado por um ser humano ou algum outro ente) que seriam os relógios de corda e de pêndulo. Surgiram em épocas próximas, e foram de grande importância na época das grandes navegações, pois relógios baseados nos astros eram muito precisos, desde que estivessem fixos numa localização do espaço. Chamei a atenção dos alunos para o fato de que nessa época, ter relógios que não se baseassem no movimento dos astros poderia fazer com que os tripulantes de uma embarcação utilizassem a medida do tempo para se localizar no espaço, ao contrário do que nós vínhamos fazendo: sabendo nossa localização no espaço e reconhecendo esse espaço, assim como o céu visto a partir desse lugar, nós éramos capazes de descobrir o instante de tempo presente. O inverso é verdadeiro, a partir do instante de tempo medido e do céu que se vê, é possível saber o lugar onde se está.

Nesse momento, lembrei de uma pergunta feita por um aluno na aula sobre a translação da Terra, em que ele questionou por que as órbitas eram tão perfeitas, e porque não ia cada astro “para um lado”, desordenadamente. Lembrei ao aluno que me questionara sobre sua pergunta e ela pareceu interessar também aos demais alunos. Introduzi, através do exemplo da maçã, a gravitação de Newton. Expliquei-lhes que o movimento natural seria na verdade em linha reta, que Newton chamou de inércia. Dei a eles o exemplo de um astronauta que está no espaço e sai para consertar sua nave, flutuando, e, de repente, vê-se afastando lentamente da nave, percebendo que não há nenhuma corda o ligando a nada. Diante dessa situação, questionei aos alunos se eles achavam que o astronauta conseguiria voltar, e eles disseram com bastante convicção que não, mostrando ter uma noção intuitiva bastante razoável sobre o princípio da inércia. Afinal, eles perceberam que se o astronauta estivesse indo com alguma velocidade no espaço, na ausência de qualquer força, sem ninguém para empurrá-lo de volta, ele não conseguiria reverter o sentido do seu movimento, nem transformá-lo de qualquer maneira. A partir daí, expliquei a eles porque os astros fazem

trajetórias circulares. Newton mostrou que os corpos massivos se atraem mutuamente, e quando se tem vários astros, o mais pesado tende a se orbitado pelos mais leves, e aqueles que tiverem uma velocidade “adequada” à distância do astro massivo, permanecerá eternamente em uma trajetória orbital. Dessa maneira a força de atração gravitacional é responsável por desviar a trajetória inercial em linha reta que esses astros teriam, não fosse o astro massivo puxando os outros para cair em sua direção. No caso, o exemplo da maçã é excelente, pois Newton entendeu esses movimentos quando percebeu que as leis físicas que regem os astros eram as mesmas leis físicas da Terra. Ela afirmou, então, que a Lua circula em torno da Terra porque ela está caindo na Terra. A Terra a atrai, assim como atrai todos os outros corpos. Então, do mesmo jeito que uma maçã cai do pé, a Lua está caindo na Terra, e a diferença, então, entre a trajetória que ela deveria ter feito em linha reta, e a trajetória curva que ela de fato fez, é correspondente ao tanto que ela caiu durante esse deslocamento. Com isso, mostrei a eles que já não precisávamos da física aristotélica para explicar mais nada, pois tínhamos entendido o movimento aparente dos astros a partir de um referencial fixo fora da Terra, e os entendemos através dos movimentos orbitais. Com o conceito de gravidade, a física dos quatro elementos perde o sentido, assim como as justificativas para os movimentos dos astros dadas por Aristóteles.

Para encerrar a questão da medida do tempo, avançamos aos tempos atuais, explicando aos alunos de que era feito o relógio de pulso da maioria deles, que é um cristal de quartzo, um material piezoelétrico, que quando estimulado por voltagens com frequência constante oscilam também com frequência constante e esse padrão de tempo segue intervalos de tempo muito curtos e serve para medir o tempo com boa precisão e um preço acessível. Melhor do que esse seria apenas o relógio atômico, que se baseia na física quântica para medir padrões de oscilação em átomos e é o relógio mais preciso que existe no mundo, hoje em dia.

Ao fim da aula, foi passada uma questão aos alunos perguntando por que o Sol não arranca a lua da Terra. Eles responderam rapidamente e me entregaram as respostas escritas. Assim, encerrou-se toda a concepção de tempo clássico que se pretendia transmitir até aqui.

3.10 Aula 10: o tempo de transmissão de uma informação

Esta aula trabalhará a velocidade da luz, e o fato de a luz ser a coisa mais rápida que existe. Assim, será discutido um exemplo sobre dois eventos que acontecem muito distantes no Universo e são testemunhados também por dois pontos muito distantes entre si. Sugere-se que o docente inicie a aula entregando aos alunos o texto “A velocidade da luz: o antes, o agora e o depois”, disponível no Apêndice I, sobre duas galáxias, A e B, com planetas

habitados e duas estrelas, A' e B', que morrem simultaneamente no Universo. Essas estrelas estão a distâncias diferentes das galáxias, estando a estrela A' mais próxima da galáxia A e a estrela B', mais próxima da galáxia B'. Assim, pode-se questionar os alunos, antes de eles lerem o texto, acerca do tempo de transmissão da informação: se as explosões serão vistas dos planetas no instante em que acontecem, ou se essa informação viaja com uma velocidade finita pelo Universo. Em seguida, pode-se questionar se as explosões serão vistas simultaneamente a partir do mesmo planeta, ou se estas serão vistas em instantes distintos.

A explicação será dada a partir da emissão da luz. Como nenhuma causa pode preceder um efeito, fica estabelecido que a luz é a coisa mais rápida que existe e a transmissão de qualquer informação está limitada à sua velocidade. Ao morrer, uma estrela emitirá uma luz intensa, e esta percorrerá o caminho até as galáxias com uma velocidade finita. Assim, cada planeta irá testemunhar primeiramente a morte da estrela que está mais perto de si. Assim, o planeta A verá a estrela A' morrer primeiro. Porém, para os habitantes do planeta B, a estrela B' morrerá antes. Assim, os conceitos de antes, agora e depois tornam-se relativos à região do espaço onde está o observador. Nesse momento, pode-se buscar uma reflexão sobre o que vemos quando olhamos para o céu. Dadas as enormes distâncias entre os astros, o que se testemunha no céu são ecos do passado, pois a informação leva um certo tempo viajando pelo espaço. Da estrela mais próxima de nós, o Sol, um feixe de luz leva em torno de oito minutos para chegar até a Terra. Mais que isso, os corpos celestes mais distantes de nós trazem informações de épocas remotas do Universo, auxiliando os cientistas a tentar recontar sua história e, ainda, compreender os processos de evolução estelar. Com o exemplo da percepção cronológica entre explosões de estrelas a partir de duas galáxias distintas do Universo espera-se que os alunos sejam capazes de relativizar os conceitos de antes, agora e depois. Após o texto, há uma atividade que poderá ser feita em casa pelos alunos. Uma vez que esta parte da sequência não foi aplicada no contexto desta pesquisa, suas atividades contam com sugestões de respostas, disponíveis no Apêndice III, para dar uma diretriz ao docente na avaliação da execução das tarefas por parte dos discentes.

3.11 Aula 11: O experimento de Michelson-Morley e a dilatação do tempo

Nesta aula será abordado o fenômeno da dilatação do tempo, uma consequência de um embaraçoso resultado experimental, conhecido por Michelson-Morley, que mostrou que a velocidade da luz é invariante. Para isso será introduzido o conceito de éter luminífero, que seria o meio de propagação da luz. Para introduzir a nova problemática, sugere-se abordar o que acontece com a velocidade da luz quando esta é detectada por um observador em

movimento em relação à fonte de luz. Quando o famoso experimento de Michelson-Morley foi feito, os cientistas acreditavam que a luz era uma onda e por isso tinha que ter um meio de propagação, a que chamaram éter. O movimento da Terra arrastaria o éter em torno dela e isso deveria desviar a trajetória da luz como uma correnteza, dependendo da direção de propagação. Pode-se comparar a um exemplo em que um barco é arrastado por uma correnteza. O que se quer mostrar é que a luz não sofre esse tipo de variação na velocidade devido ao deslocamento do seu meio de propagação. Esse experimento irá explicar, então, como se descobriu que isso não acontecia: a velocidade da luz era invariante para qualquer referencial, ou seja, que ela não sofre as transformações de Galileu.

A partir daí iremos introduzir novos conceitos, mostrar que Einstein interpretou a situação como a velocidade da luz sendo uma propriedade fundamental da natureza e que, portanto, deveriam ser revistos os conceitos de espaço e de tempo para adequá-los a essa nova informação. O primeiro exemplo que se pode abordar das consequências desse experimento é mostrar a dilatação do tempo para referenciais em movimento rápido. Para isso, vamos abordar um experimento imaginário, disponível no Apêndice I, que se passa em um trem de altíssima velocidade (comparável à da luz): um pulso de luz é emitido por uma lâmpada no chão do trem, reflete-se num espelho no teto do trem, e então retorna à lâmpada. O caminho percorrido pela luz será observado de maneira distinta entre a menina dentro do trem e a que está do lado de fora. Para a menina dentro do trem, a luz percorreu um caminho vertical para cima e para baixo. Para a menina de fora do trem, no entanto, ela percorreu um caminho diagonal, tanto na subida quanto na descida. Esse caminho diagonal é geometricamente mais longo que o vertical. Se a velocidade da luz é invariante, deve-se presumir que ela leve mais tempo para percorrer um caminho mais longo. Assim, o tempo de ida e volta da luz à lâmpada medido pela menina fora do trem será maior que o tempo medido pela menina dentro do trem, a isso dá-se o nome de dilatação do tempo. É possível relacionar o tempo medido pelas meninas matematicamente. Caberá ao professor identificar se, dentro do seu contexto educacional, convém demonstrar esse cálculo. Ele depende de conceitos simples, que são o movimento retilíneo uniforme e o Teorema de Pitágoras além de algumas manipulações algébricas com as equações. Se o professor assim desejar, pode dedicar mais aulas esse cálculo e à resolução de exercícios tradicionais. Destaque-se, no entanto, que esse cálculo não é necessário à aplicação da sequência, pois há exemplos que podem comprovar experimentalmente esse a dilatação do tempo. Para dar um desfecho a essa situação, planeja-se apresentar o exemplo dos múons – partículas que conseguem atravessar a atmosfera

terrestre apenas devido à dilatação do tempo – o que pode ser um bom caminho para explicar que existem evidências experimentais de que a medida do tempo irá sofrer variações entre referenciais em movimento. Os muons são partículas muito rápidas, provenientes do sol, que, ao atingirem a nossa atmosfera, sofrem um decaimento, deixando de ser múons. E o tempo que eles levariam, com a velocidade que têm, para atravessar nossa atmosfera seria tempo o suficiente para que nenhum múon conseguisse chegar à Terra, todos teriam sofrido decaimento antes disso. No entanto, detectam-se múons a nível do mar, o que é uma prova de que, para esses múons, deu tempo de chegar, ou seja, nós medimos o tempo dos múons dilatado. O tempo deles, de fato, é menor do que o tempo que nós medimos.

Nessa etapa, verificar-se-á que o efeito do movimento relativo entre referenciais é muito profundo. A percepção de realidade dos observadores em diferentes referenciais fica deslocada: o que é “tempo presente” para um observador, compreende eventos que acontecem em diferentes instantes de tempo para outro observador.

3.12 Aula 12: o conceito relativo de simultaneidade e a contração do espaço

Nesta aula planeja-se abordar a questão da contração do espaço de maneira a compensar a dilatação do tempo e introduzir a razão pela qual foi necessário criar o conceito de espaço-tempo, para que as leis físicas permanecessem invariantes. Para dar esse exemplo de maneira simples, há uma atividade em Apêndice XII, que contém mais um exemplo de experimento no trem de Einstein, com pulsos de luz sendo emitidos nas extremidades do trem. Para isso, nessa aula, então, será abordado o conceito de medida de comprimento. Para isso, apresentar-se-á a situação-problema do trem de Einstein, hipotético e muito veloz (sua velocidade é comparável à da luz), utilizando o material ilustrado disponível no Apêndice I. Nas figuras, dois pulsos de luz são emitidos das extremidades de um vagão de trem, com uma personagem dentro do vagão e outra do lado de fora, ambas observando o encontro desses raios de luz. Para a personagem que está do lado de fora (em movimento com relação ao trem), os pulsos de luz percorreram a mesma distância, mas para a personagem que está no trem (e, portanto em repouso em relação a ele), os raios de luz percorreram distâncias diferentes, sendo que eles tinham a mesma velocidade (lembre-se que a velocidade não sofre as transformações de Galileu). Poderiam, então, ter sido emitidos juntos e então percorrer distâncias diferentes, com a mesma velocidade, levando, ambos, o mesmo tempo? O nível de

complexidade da situação problema é alto, pois a resposta irá requerer uma quebra de paradigmas sobre tempo e espaço.

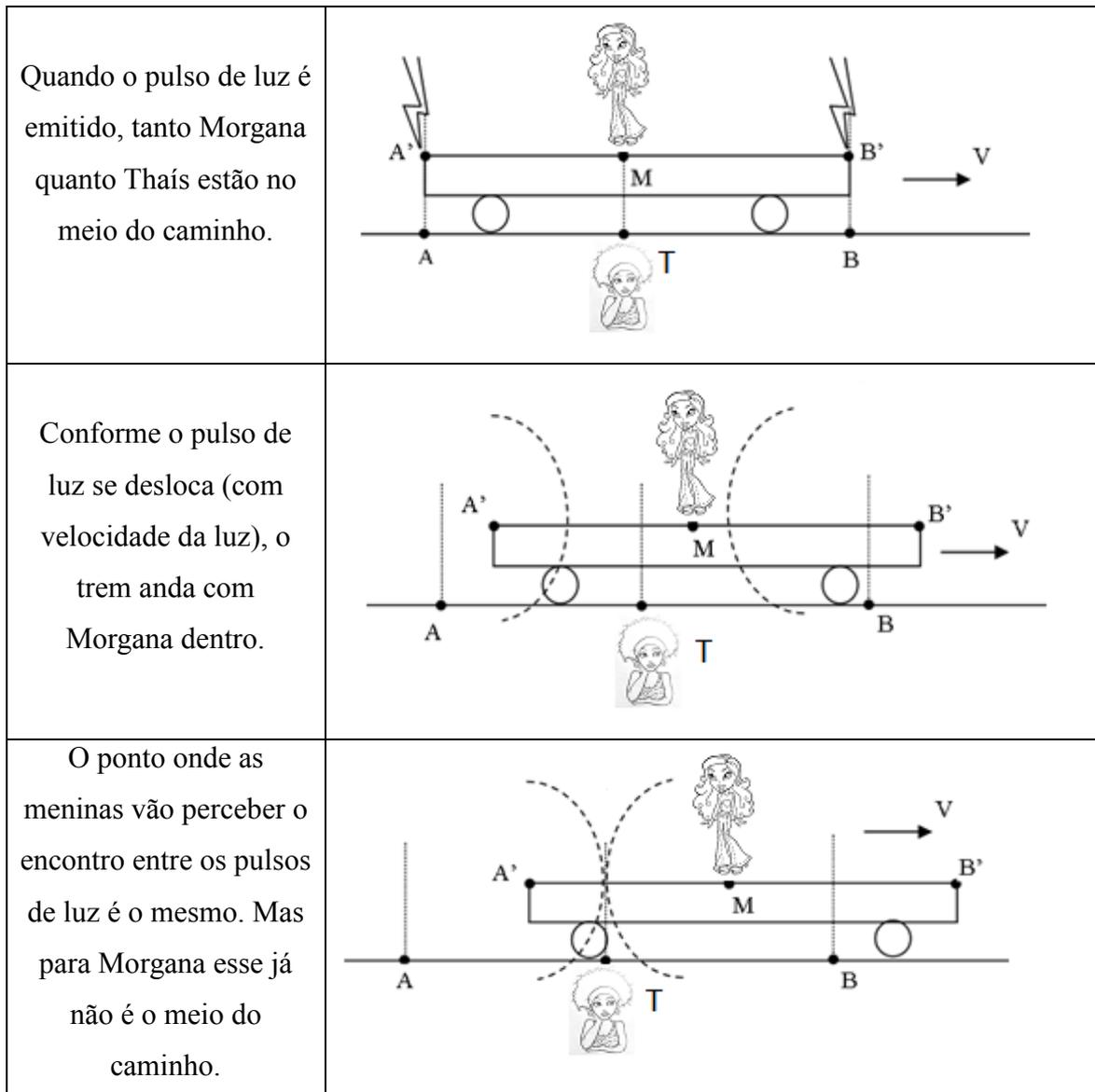


Figura AXII.1: Experimento no trem de Einstein. Fonte: Elaborado pela autora.

A resposta para o questionamento da situação-problema será devastadora: a personagem que está no trem vai ter que ver um pulso partir antes do outro. Só assim eles irão percorrer distâncias diferentes na mesma velocidade até chegar ao ponto de encontro. Mais especificamente, o raio de luz da frente do trem saiu antes do raio de luz que veio da traseira do trem. Assim, deve-se estabelecer um novo critério de simultaneidade: dois eventos são simultâneos se dois raios de luz que partem desses eventos se encontrarem no “meio do caminho”(ponto médio da reta que marca a distância entre os dois). E esse experimento irá mostrar que a simultaneidade também é relativa ao estado de movimento do referencial.

O próximo passo é verificar a consequência da relatividade da simultaneidade (e da dilatação do tempo) na medida de comprimentos. Primeiramente, define-se como medir um comprimento: para medir algo, deve-se marcar simultaneamente as posições das extremidades do objeto e medir a distância entre esses pontos. Devido à ausência de simultaneidade na medida feita pela menina do lado de fora, ela irá medir seu comprimento alterado. O fato é que a menina de fora do trem irá medir um comprimento para o trem menor que o comprimento medido pela menina de dentro do trem. Esse fato é conhecido como contração do espaço. Isso não quer dizer que o trem se espremeu por estar muito rápido, mas sim que houve um problema na medição feita pela menina de fora. Esse problema advém da relatividade da simultaneidade, cuja consequência será o fato de que a medida de comprimento do trem será diferente para os referenciais interno e externo. Sendo que, quem faz a medida alterada, é o referencial que está do lado de fora, observando o trem se movimentar.

Nesse momento propõe-se fazer uma analogia clássica que se baseia na hipótese de se fotografar um trem longo em movimento, fotografando em diferentes instantes suas diferentes partes e fazendo uma montagem dessas imagens, conforme Figura 3.12.

Como o trem não cabe inteiro na foto, tiram-se duas imagens para depois juntá-las. Como o trem está em movimento, as imagens juntadas irão alterar seu comprimento aparente. Assim, espera-se mostrar o que é a contração do espaço através desta analogia, que consiste em se apreciar qual é a consequência de se medir um objeto em movimento sem olhar para suas extremidades simultaneamente.

Na física clássica, medimos o comprimento de alguma coisa encostando uma régua simultaneamente nas suas extremidades. Isso não é tão simples na relatividade, então utiliza-se pulsos de luz para se medir coisas. E com isso espera-se mostrar através de uma analogia, que a medida do espaço será contraída, fenômeno conhecido por contração do espaço. Deve-se ressaltar que a invariância na velocidade da luz irá causar distorções nas medidas feitas por referenciais em diferentes estados de movimento. De uma certa forma, essas variações irão se contrabalançar tratando-se o tempo como a quarta coordenada do espaço.

Sendo assim, o tempo se dilata, porém, o espaço se contrai, e essas duas coisas se compensam quando se integra o tempo ao espaço, considerando-o, então, a quarta coordenada do espaço, ou a quarta dimensão, constituindo o que é conhecido hoje por espaço- tempo. Sobre isso há algumas atividades ao final do material de apoio a esta aula, para serem respondidas pelos

alunos, em aula, ou em casa, a critério do professor. Essas atividades contam com sugestões de respostas disponíveis no Apêndice III.

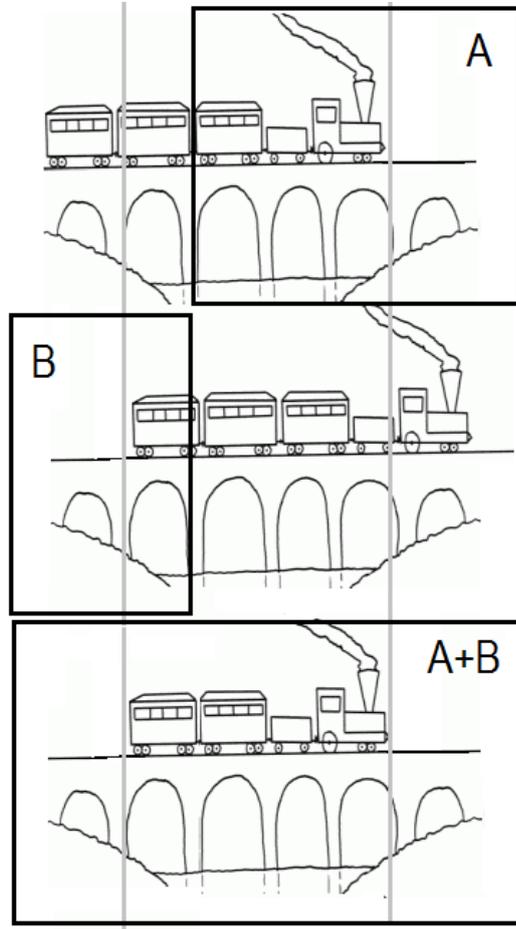


Figura 3.12: Fotografias retiradas das partes de um trem em movimento e unidas em seguida.
Fonte: elaborada pela autora

3.13 Aula 13: Curvaturas no espaço-tempo

Com a relatividade do tempo e do espaço, os paradigmas mais sólidos da física se perderam. Para garantir que as leis físicas sejam válidas para qualquer referencial, o tempo integra-se ao espaço como sua quarta coordenada e daí emerge uma nova grandeza: o espaço-tempo. A próxima aula irá então, abordar como é o espaço-tempo curvo, a fim de evoluir do conceito de gravidade de Newton para o conceito de curvatura do espaço-tempo de Einstein.

A problemática, agora, será em torno da menor distância entre dois pontos. O professor pode distribuir para os alunos o material disponível no Apêndice I, a fim de trabalhar o exemplo de uma formiga que caminha sobre uma esfera. Para ela, a menor distância entre dois pontos é uma linha curva, e seu caminho constitui o que chamamos de

trajetória geodésica. As figuras geométricas que os passos da formiga marcam sobre a esfera não seguem as regras da geometria plana, e esta não serve, portanto, para calcular parâmetros sobre uma superfície curva. Se tentarmos medir a área da figura marcada pelos passos da formiga utilizando a geometria plana, o resultado estaria errado, a não ser que fossem feitas correções. Isso acontece porque a geometria plana não serve para fazer medidas sobre superfícies curvas. O espaço-tempo é curvo e, por analogia, pode-se mostrar que a geometria utilizada nesse contexto deve ter correções em relação à geometria euclidiana. Da mesma forma que a formiga deve percorrer um caminho curvo sobre a esfera, os astros são levados pela curvatura do espaço-tempo a percorrerem caminhos curvos também. Dessa forma, o conceito de força da gravidade pode ser substituído por curvatura do espaço-tempo, que determina uma direção preferencial de aceleração para os corpos. Ao percorrer um caminho orbital, um astro está seguindo sua trajetória geodésica, na qual a menor distância entre os pontos de sua trajetória não pode ser medido por uma linha reta, pois seu movimento se curva acompanhando o espaço-tempo. Ou seja, é como se seguisse uma linha reta em um espaço-tempo curvo. Deve-se salientar que essa curvatura do espaço é causada pela presença de massa (ou outras formas de energia) que define uma direção preferencial de aceleração.

A partir daí, pode-se levantar a questão de como sentimos a curvatura do espaço-tempo, ou a gravidade, o que servirá de base para entender o princípio da equivalência. Alguns exemplos podem ajudar nessa tarefa, como um foguete na ausência de campo gravitacional, que tem aceleração igual à da gravidade e faz o tripulante sentir-se como se estivesse no campo gravitacional da Terra. Também pode-se abordar o exemplo de astronautas que flutuam dentro de satélites espaciais em órbita percorrendo uma linha geodésica do espaço. Estando acelerados pela curvatura do espaço-tempo, esses não percebem a gravidade. Com o conceito de curvatura do espaço, até mesmo a luz passa a ser desviada ao passar próximo a grandes massas, e o professor pode ilustrar essa situação dando o exemplo do famoso eclipse em Sobral (Ceará), quando foi comprovada a existência da curvatura do espaço. Após isso, serão aplicadas duas atividades interpretativas sobre a curvatura do espaço-tempo, disponíveis no Apêndice I, finalizando a aplicação da sequência. Espera-se que a sequência tenha a potencialidade de desenvolver um modelo explicativo de Universo nas suas estruturas mentais dos estudantes.

Capítulo 4

Resultados e discussões

Neste capítulo iremos discutir a experiência vivida em sala de aula ao longo da construção e aplicação da sequência, buscando entender se há indícios de que esta foi capaz de produzir uma aprendizagem significativa. Faremos isso numa ótica qualitativa, sob a qual iremos analisar através do relato do que aconteceu nas aulas, de que forma percebemos a evolução dos alunos na compreensão e domínio de conceitos. Haverá, ainda, uma apreciação das respostas dadas pelos alunos às atividades propostas. A análise dessas respostas irá complementar aquilo que foi avaliado através da vivência em sala de aula, no decorrer da aplicação do produto.

No que compete ao aluno, essa sequência possibilitou um contato com a ciência no contexto escolar, atendendo a uma série de quesitos elencados pelos PCN com relação ao ensino de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias para o Ensino Médio. Ao se abordar a necessidade de contar o tempo como a força motriz do desenvolvimento da astronomia antiga, por exemplo, foi possível ao aluno “compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas” (BRASIL, 2000, p. 95). Como tal, pode-se destacar o esforço de minuciosos ajustes matemáticos que se deram ao longo da História na medida do ciclo de translação da Terra, para que o atual calendário gregoriano emergisse da evolução do antigo calendário romano. Na tarefa que exigia dos alunos que tentassem planejar a construção de um relógio de Sol, quando confinados em um reality show, eles tiveram que se apropriar dos conteúdos de Astronomia, obtidos na aula anterior, sobre o geocentrismo e “aplicar esses conhecimentos para explicar o funcionamento do mundo natural, planejar, executar e avaliar ações de intervenção na realidade natural” (BRASIL, 2000, p.95)

Temos por objetivo investigar a significação lógica deste material. Para Moreira (2016), o material só será potencialmente significativo se ele demonstrar ter potencial de adquirir significado na estrutura mental do aprendiz. Assim, iremos buscar indícios de que nosso produto educacional tenha sido capaz de produzir uma aprendizagem significativa.

Primeiramente, cabe ressaltar aqui que as atividades avaliativas deveriam ser tais que evitassem respostas que possam ser mecanicamente memorizadas. Isso porque a aprendizagem significativa é aquela segundo a qual o aprendiz apropria-se do conhecimento de tal forma que ele é capaz de transformá-lo, para adaptar o conteúdo aprendido a um novo

contexto, totalmente diverso daquele em que este foi aprendido. E as atividades que aqui foram aplicadas buscaram evitar o uso exemplos batidos ou problemas mecanicamente memorizados. Foram elaboradas com o intuito de dificultar a utilização de respostas prontas na internet. Dessa maneira, as atividades aplicadas ao longo da sequência buscaram evidenciar se a apropriação do conhecimento se deu de maneira não arbitrária e não-literal, de forma que ao interpretar essas novas questões os alunos fossem capazes de utilizar esse conhecimento adquirido na resolução de novos problemas.

A teoria de aprendizagem aqui utilizada toma por base que o fator mais importante da aprendizagem é o que existe na estrutura cognitiva do aprendiz, e chama de subsunçores todos os conhecimentos ali existentes. Dessa maneira, a aprendizagem será significativa desde que haja uma relação não-arbitrária do novo conteúdo com aquele que já existe na sua mente. As ideias presentes na estrutura mental do aprendiz servem como ancoradouro para os novos conteúdos que venham a ser ensinados. Assim, quando o conteúdo requer algum conhecimento prévio, é interessante desenvolver organizadores prévios, e foi o que se buscou fazer nas 2ª e 3ª aulas. A 1ª aula dedicou-se a investigar ideias sobre o Sistema Solar pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos. Seria inapropriado ignorar que esses alunos estão lotados de ideias, principalmente se tratando de um conteúdo que diz respeito a fenômenos que são presenciados no nosso cotidiano. Os alunos tendem a ter previamente uma opinião sobre eles, que pode ter sido adquirida na escola ou simplesmente baseada no senso comum, conforme Langhi (2014) observa. E não quer dizer que a explicação que eles tenham para os fenômenos não seja significativa para eles, portanto, essa primeira aula tem objetivo de identificar esses subsunçores. A aplicação do teste permitiu observar uma série informações acerca dos conceitos e proposições presentes na estrutura cognitiva dos alunos.

A primeira pergunta feita foi “1. A Terra é plana ou redonda? Como você pode provar essa afirmação?” Todos alegaram saber que a Terra é redonda. As justificativas dadas foram agrupadas em tipos, conforme a legenda, e dispostas no Gráfico 4.1.

Note-se que, dos 17, 41%, admitiu não ser capaz de apreciar essa curvatura, tendo admitido acreditar, até então, nas informações passadas pela escola e pela mídia.

A segunda pergunta feita foi “2. O Sol gira em torno da Terra ou a Terra gira em torno do Sol? Como você observa esse movimento?” Todos, menos um, alegaram que a Terra gira em torno do Sol. As justificativas dadas foram semanticamente agrupadas, conforme a legenda, e dispostas no Gráfico 4.2.

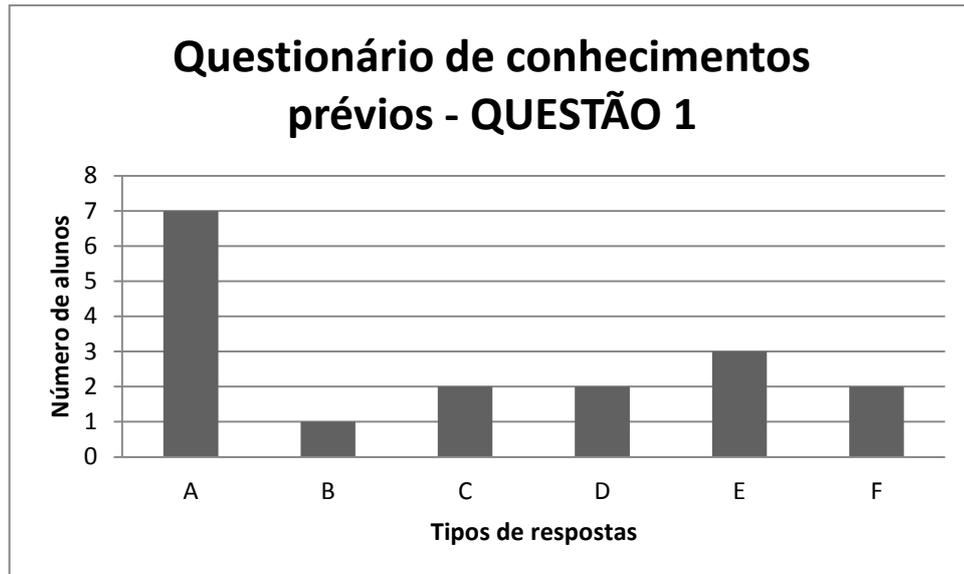


Gráfico 4.1: Respostas dadas à questão 1 do questionário de conhecimentos prévios. Legenda: A- Através de fotos de satélites. B- Pois ela gira. C- Se não iríamos cair da beira da Terra. D- É possível perceber ao subir de um ponto mais alto ou olhar de uma distância longa. E- Pois o barco desaparece atrás da água quando se afasta no mar. F- Não justificou.

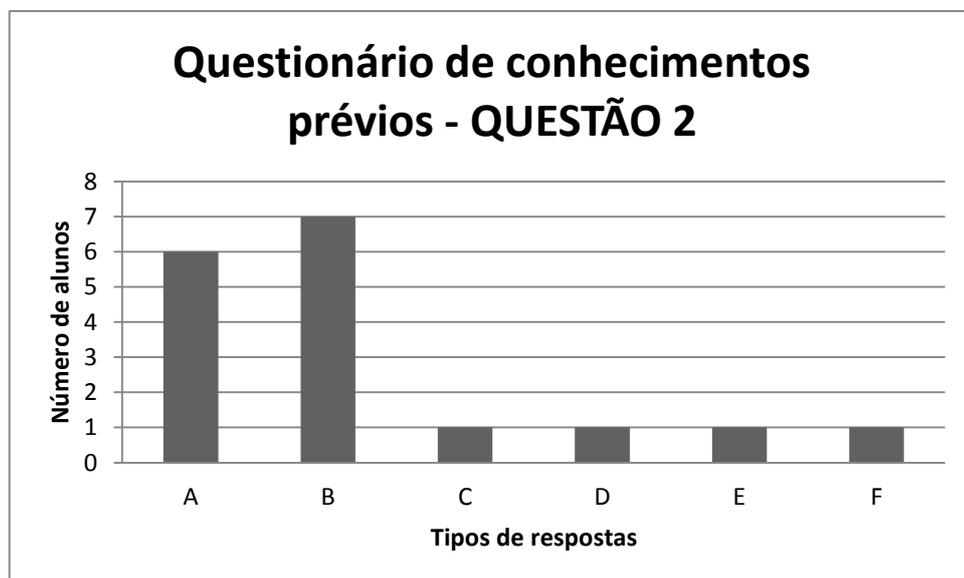


Gráfico 4.2: Respostas dadas à questão 2 do questionário de conhecimentos prévios. Legenda: A- Confundem translação com rotação. Justificam que a Terra gira em torno do Sol com o passar dos dias e das noites. B- Não justificou/admitiu não saber. C- Justificou pelas estações do ano. D- Foi aprendido na escola. E- Colocou o Sol como o centro do Universo. F- Alegou que tudo gira em torno da Terra.

Apenas 1 dos 17 alunos exemplificou um fato coerente com o movimento de translação, ao se referir às estações do ano. Os demais não souberam justificar corretamente, e 35% confundiram o movimento de translação com rotação, atribuindo à translação o suceder

dos dias e das noites. Apesar disso, todos demonstraram saber que a translação dura 365 dias, ao passo que o dia dura 24 horas. Ainda assim, quando confrontados com uma situação diferente das de costume, não souberam interpretar o conhecimento de que dispunham, o que pode ser um sinal de que a aprendizagem que tiveram sobre Astronomia até então foi puramente mecânica.

A terceira questão não foi exatamente uma pergunta, mas uma solicitação: “3. Desenhe o Universo.” Os desenhos foram classificados conforme a legenda e sua frequência está disposta no Gráfico 4.3

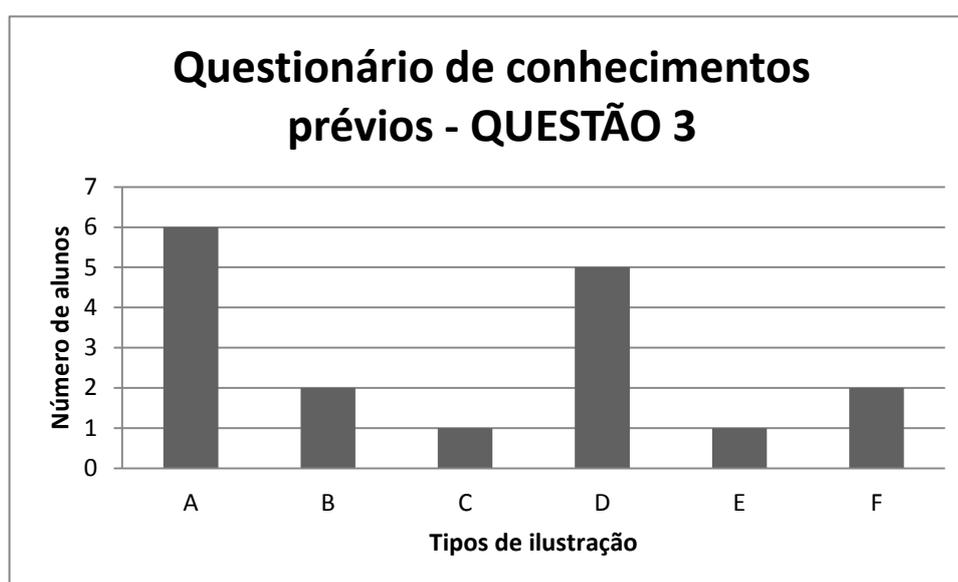


Gráfico 4.3: Tipos de desenhos feitos em resposta à questão 3 do questionário de conhecimentos prévios. Legenda: A- Desenho com a Terra em destaque. B- Céu chuvoso/ensolarado. C- Representou o Sol maior que outras estrelas. D- Nada em destaque. Céu escuro com pontos brilhantes E- Presença de meteoros ou galáxias F- Sem desenho, justificou por escrito.

A despeito de alguns detalhes, como alunos que desenharam planetas alinhados, ou fizeram o Sol maior que outras estrelas, as concepções de universo se mostraram próximas da realidade. Os desenhos continham vastidão, muitas estrelas, e muitos não tinham nada em destaque. Outros destacavam a Terra, mas de um ponto de vista em que seu tamanho percesse verossímil. À exceção de dois alunos que confundira o Universo com o céu chuvoso ou ensolarado, os estudantes mostraram ter uma concepção próxima da realidade acerca de medidas astronômicas.

Na segunda e na terceira aula foram preparados alguns organizadores prévios, que buscam desenvolver os subsunçores necessários à aquisição do novo conhecimento. Foi

explicado, então, na segunda aula, a descrição dos movimentos que se observam, a partir do referencial da Terra, tanto do Sol, quanto das estrelas e dos outros planetas. E apresentando também um modelo explicativo de universo segundo a concepção de Aristóteles, que seria a física dos quatro elementos, para justificar os movimentos naturais na Terra, e o quinto elemento que explicaria o movimento dos astros. A terceira, aula sobre as constelações do zodíaco, teve como intuito concretizar esses organizadores prévios sobre o movimento observável dos astros a partir do referencial da Terra, evidenciando um ciclo dos astros de longa duração.

Para Moreira (2016), a aprendizagem em uma UEPS deve ocorrer ao longo de sua aplicação, registrando-se tudo que servir de evidência de que o estudante está aprendendo. Por isso, foi aplicada mais uma atividade, que exigiria a transformação intensa do conteúdo que foi adquirido numa questão que abordava o fenômeno de rotação da Terra, sem que isso tivesse sido abordado até então na aula. A primeira questão objetivava que os alunos tentassem fazer uma transposição entre as ideias acerca do que se observa no referencial geostático, para o que se vê através da rotação. Buscava-se saber se eles iriam atribuir o fenômeno astronômico correto ao fenômeno observável. Já que muitos mostraram essa confusão entre os conceitos no questionário de conhecimentos prévios, ao atribuir a passagem dos dias e das noites à translação da Terra, a segunda questão propunha a resolução de um problema, e as outras duas iriam requerer interpretação atenta do que foi ensinado.

A primeira questão trazia uma letra de música que cita de forma poética rotação da Terra. A pergunta era “explique por que o movimento da Terra tem uma íntima ligação com a nossa percepção (e contagem) da passagem do tempo”. Tentamos agrupar semanticamente as respostas, para traçar um perfil da qualidade e da criatividade das respostas conforme o Gráfico 4.4.

Percebe-se que os equívocos apontados no questionário de concepções prévias da primeira aula já começaram a se desfazer. Não houve mais confusões entre movimento de translação e rotação, pois foi chamada a atenção, nas aulas 2 e 3, para o tempo de duração dos ciclos observáveis.

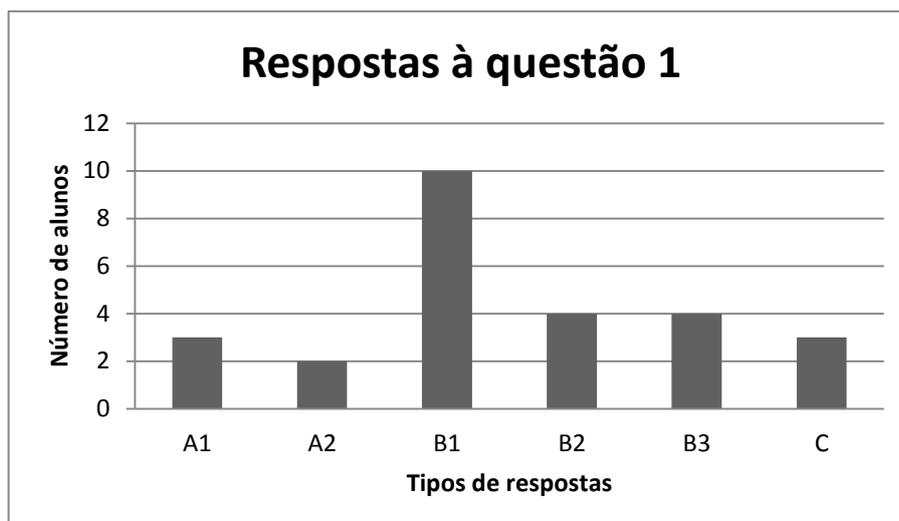


Gráfico 4.4: Respostas dadas à questão 1 da 4ª aula. Legenda: A1- Cita o movimento de rotação da Terra para justificar o amanhecer e o anoitecer. A2- Cita o movimento de translação da Terra para justificar a passagem do ano. B1- Cita o nascer e por-do-sol com menção a claro e escuro, calor e frio. B2 - Cita o nascer e por-do-sol de Leste a Oeste. B3- Cita o nascer e por-do-sol como a percepção do dia e a variação das constelações visíveis no céu noturno como percepção da passagem do ano. C- Não soube explicar

A segunda pergunta, que se divide em quatro letras, traz uma poesia sobre a ansiedade advinda da contagem das horas e traz uma problemática em que se pede ao aluno que imagine estar confinado em um reality show sem relógio, papel ou caneta. Vamos elencar as perguntas e suas respectivas respostas dadas a cada uma das letras nos Gráficos 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

a) Como você faria para construir um relógio de sol? Respostas no Gráfico 4.5

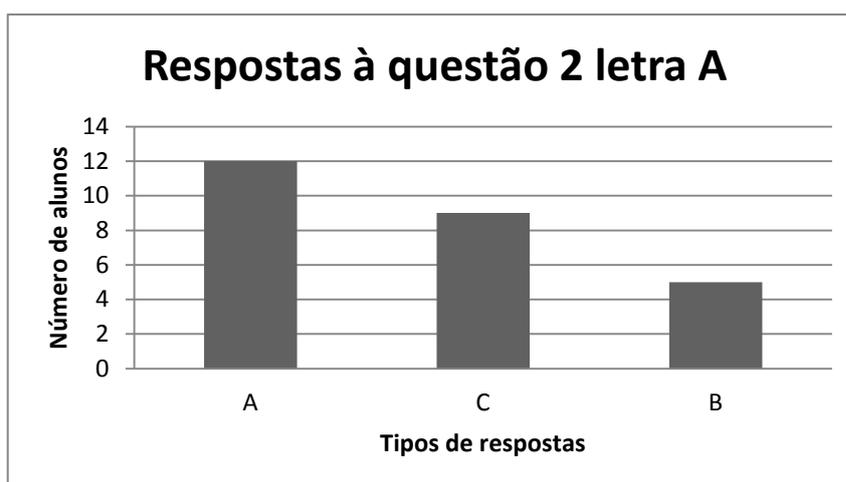


Gráfico 4.5: Respostas dadas à questão 2 letra A da 4ª aula. Legenda: A- Explicou a direção do movimento do Sol. (destes 5 incluíram na resposta utilizar a projeção da sombra como parâmetro). B- Disse que utilizaria a sombra, mas não explicou a direção do movimento do Sol (destes 8 explicaram que objetos utilizariam no arranjo experimental). C- Apenas cita que poderia acompanhar o movimento do Sol, sem explicar sua direção, ou propor utilizar sua sombra num arranjo experimental

b) Como você iria marcar a passagem dos dias e semanas? Respostas no Gráfico 4.6

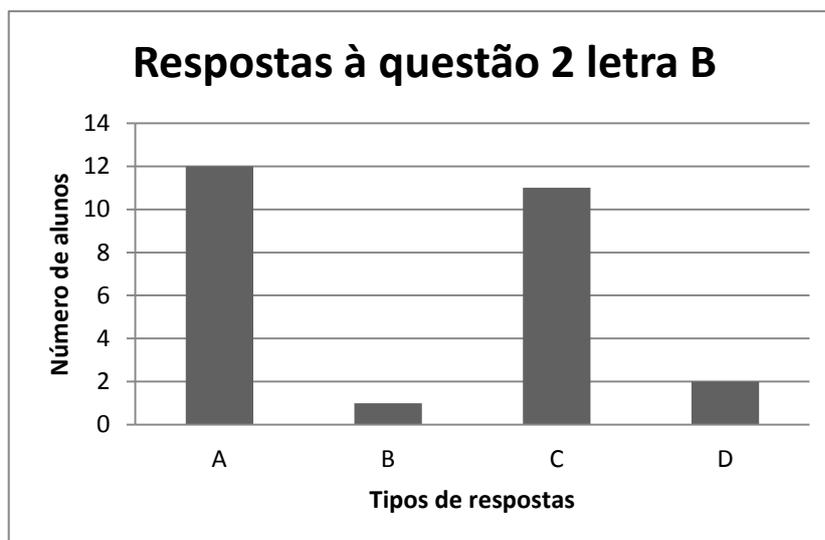


Gráfico 4.6: Respostas dadas à questão 2 letra B da 4ª aula. Legenda: A- Cunhar riscos com objetos pontiagudos em árvores, paredes, tábuas, etc. B- Através das estrelas. C- Contaria de cabeça. D- Usou um padrão próprio do programa, ex: toda Terça tem “eliminação”.

c) Você acha que seus métodos alternativos de medir o tempo se assemelham aos métodos do homem primitivo? Respostas no Gráfico 4.7

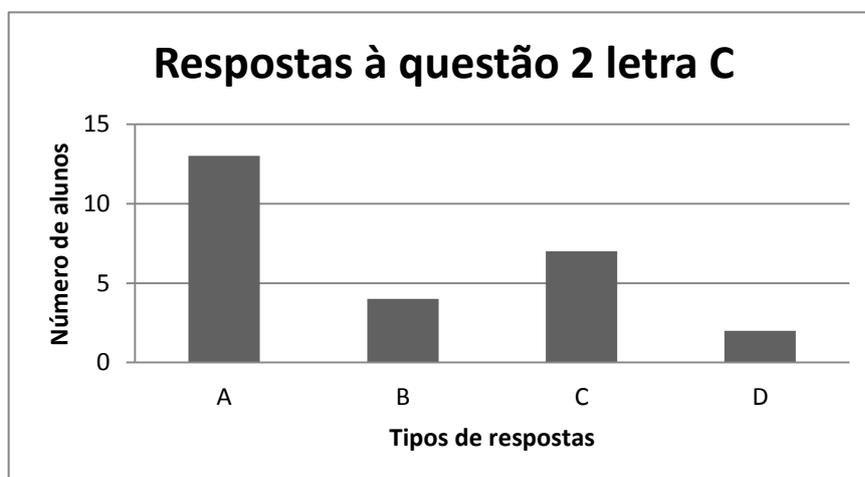


Gráfico 4.7: Respostas dadas à questão 2, letra C da 4ª aula. Legenda: A- Sim. B- Alguns. C- Não. D- Não soube responder

d) Imagine passar um mês sem saber as horas fora de um reality show. Quais seriam as implicações na sua vida? (Ou seja, o que você não conseguiria mais fazer devido a isso?) Dê exemplos. Respostas no Gráfico 4.8.

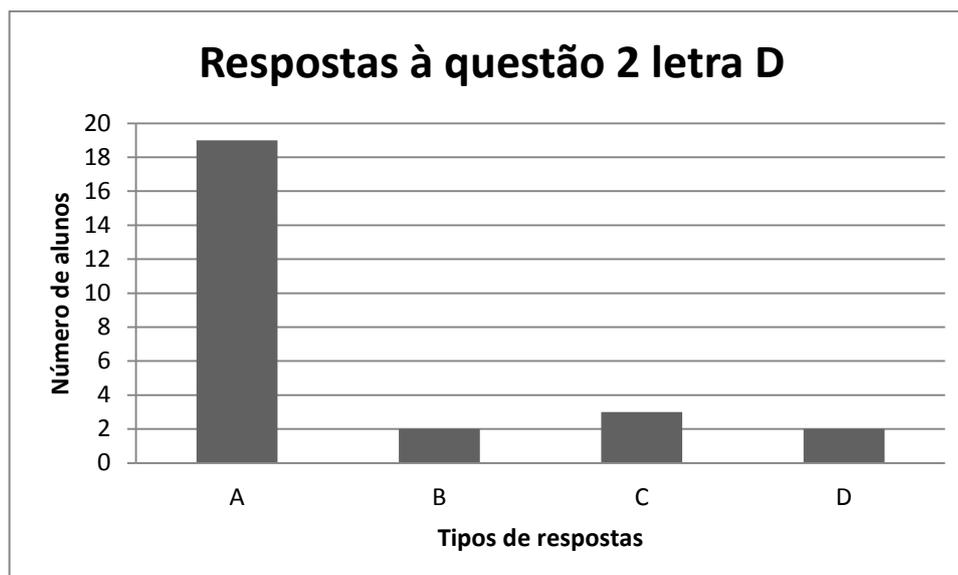


Gráfico 4.8: Respostas dadas à questão 2, letra D da 4ª aula. Legenda: A- Ser pontual nos compromissos, tais como: trabalho, escola, tarefas em casa, tomar remédio, ir ao jogo de futebol, ir se divertir, pegar ônibus. B- Cozinhar. C- Comer/dormir na hora certa. D- Perderia o senso de tempo.

No questionário aplicado, a letra A chamou atenção para a periodicidade do ciclo do sol, a letra B exigiu deles a solução para um problema, cujo caráter histórico da solução foi evidenciado na letra C, lembrando-nos da verdadeira natureza do conhecimento científico. A letra D buscava uma reflexão acerca da utilidade da aquisição de conhecimento pela humanidade, e como isso transforma totalmente o nosso modo de vida.

Em seguida, foram aplicadas duas questões de múltipla escolha, que deveriam ser justificadas e versavam sobre a medida do tempo, usando, para isso, os astros. Essas questões foram aplicadas após as duas primeiras terem sido finalizadas. A separação das questões se deu em virtude da figura do relógio de Sol, presente da quarta questão, que poderia suggestioná-los na resolução da segunda questão. A terceira questão do dia afirmava “Podemos perceber e mensurar a passagem do tempo, exceto:”

- a) Pelo movimento das estrelas
- b) Pelo movimento do Sol
- c) Pelo movimento das nuvens
- d) Pelo movimento da Lua

As respostas foram como mostra os gráficos 4.9 e 4.10. Vê-se que muitos perceberam que não há periodicidade no movimento das nuvens e por isso elas não são um bom parâmetro para a medida do tempo, diferentemente dos astros.

Analisando as justificativas dadas, e classificando-as, foi possível perceber que 3 alunos marcaram B e justificaram dizendo como percebem a passagem do tempo através do movimento do Sol. É possível que não saibam o significado da palavra exceto.

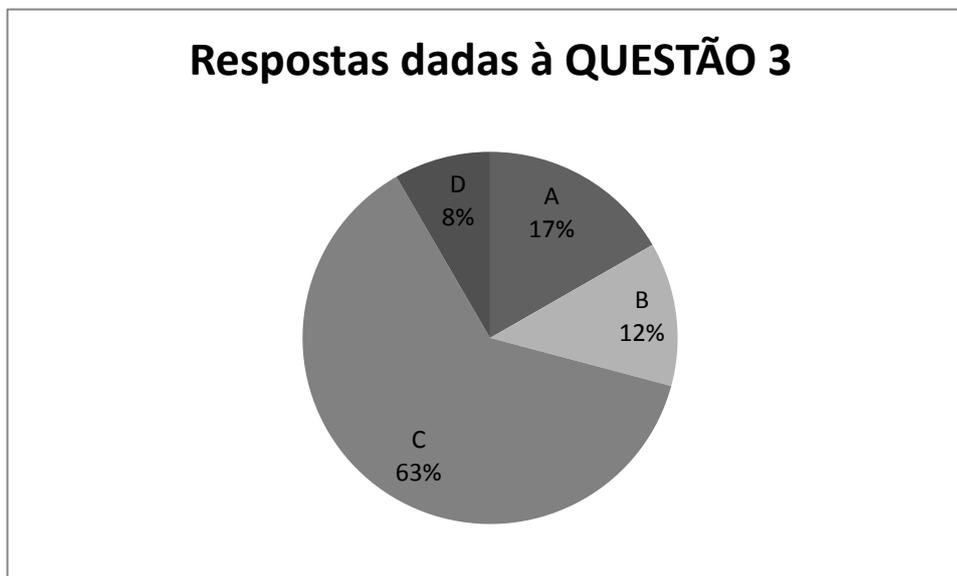


Gráfico 4.9: Respostas dadas à questão 3

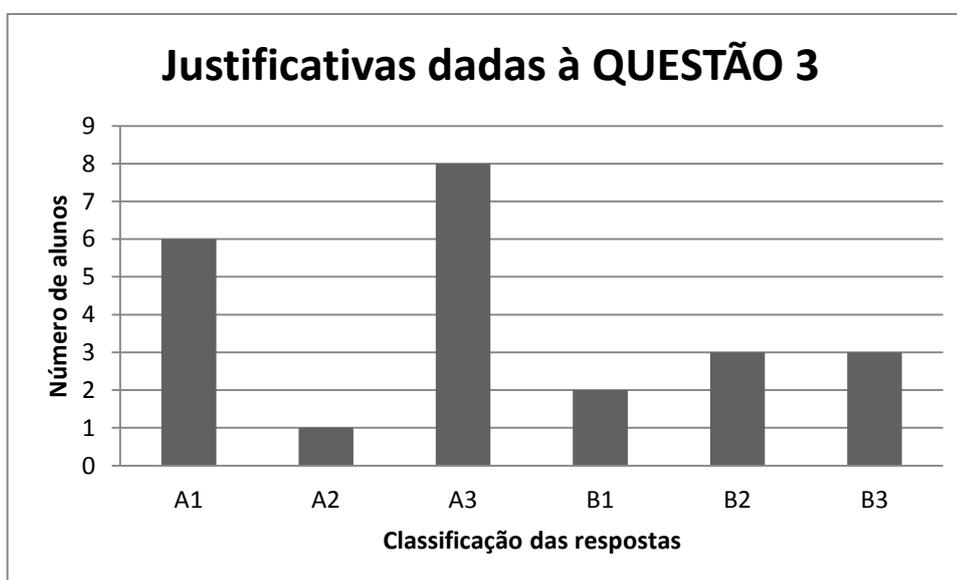


Gráfico 4.10: Respostas dadas à questão 3. Legenda: CORRETAS: A1- Justificativa correta. A2- Justificativa incorreta. A3- Sem justificativa. INCORRETAS: B1- Sem justificativa. B2- Justificativa incorreta. B3- Justificou corretamente, mas aplicou erroneamente o conhecimento.

A quarta questão era sobre o relógio de Sol: “4. *O relógio de sol* é um instrumento que mede a passagem do tempo pela observação da posição do Sol. No relógio de Sol da figura

abaixo, foram omitidos os valores correspondentes às horas, que marcam de 6 da manhã às 6 da tarde. Pode-se dizer que a hora marcada pela projeção da sombra equivale a:”

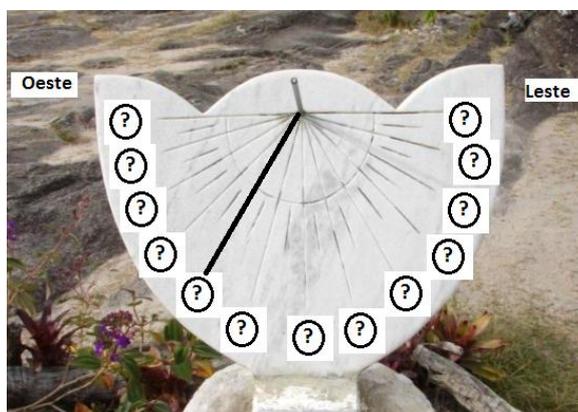


Figura 4.1: Relógio de Sol com os números ocultados. Fonte: elaborado pela autora.

- a) 2 horas da tarde
- b) 3 horas da tarde
- c) 1 hora da tarde
- d) 11 horas da manhã
- e) 10 horas da manhã



Gráfico 4.11: Respostas dadas à questão 4

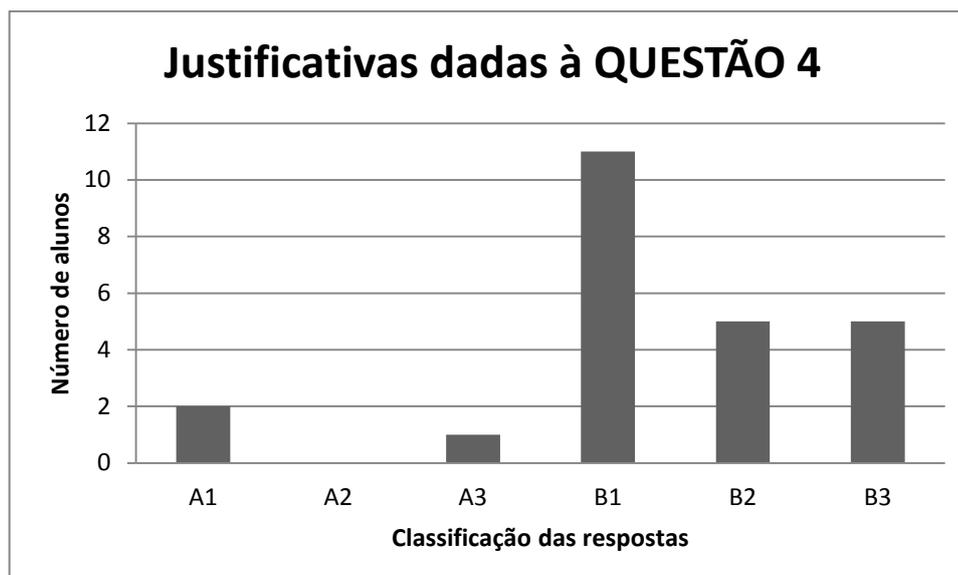


Gráfico 4.12: Respostas dadas à questão 4. Legenda: CORRETAS: A1- Justificativa correta. A2- Justificativa incorreta. A3- Sem justificativa. INCORRETAS: B1- Sem justificativa. B2- Justificativa incorreta. B3- Justificou corretamente, mas aplicou erroneamente o conhecimento.

As respostas foram dadas conforme o Gráfico 4.11. Repare-se que apenas 8% (5 alunos) responderam corretamente a letra E. Apesar de muitos saberem que o Sol nasce a Leste e põe-se a oeste, novamente eles não se mostraram capazes de aplicar corretamente o conhecimento diante de uma situação nova. Analisando as justificativas, nota-se que 5 alunos justificaram que o Sol nasce a Leste e põe-se a Oeste, mas confundiram o lado da projeção da sombra. (Gráfico 4.12) As atividades realizadas na aula seguinte teriam como objetivo atribuir significado lógico a esse conhecimento aparentemente obtido mecanicamente pela maioria.

Na aula seguinte, então, foi aplicada uma atividade em que o aluno era induzido a construir o conceito da medida do tempo através do movimento dos astros, primeiramente buscando entender o princípio do funcionamento do relógio de sol e, posteriormente, buscando-se orientar no tempo também através do movimento das estrelas. A primeira atividade, “Usando o sol para medir o tempo”, continha uma figura (Figura 4.2) representativa do modelo geocêntrico, simulando um relógio de sol que os alunos representariam utilizando uma lanterna. A pergunta feita foi “O que o movimento da sombra do lápis sugere para você? É correto dizer que você utilizou o Sol como um relógio? Por quê?”

Todas as respostas foram satisfatórias. Dos 13 alunos que entregaram a tarefa, todos descreveram o movimento da sombra comparando-a com o ponteiro de um relógio. Sete desses alunos ressaltaram, ainda, o fato de o Sol fazer o mesmo movimento todos os dias,

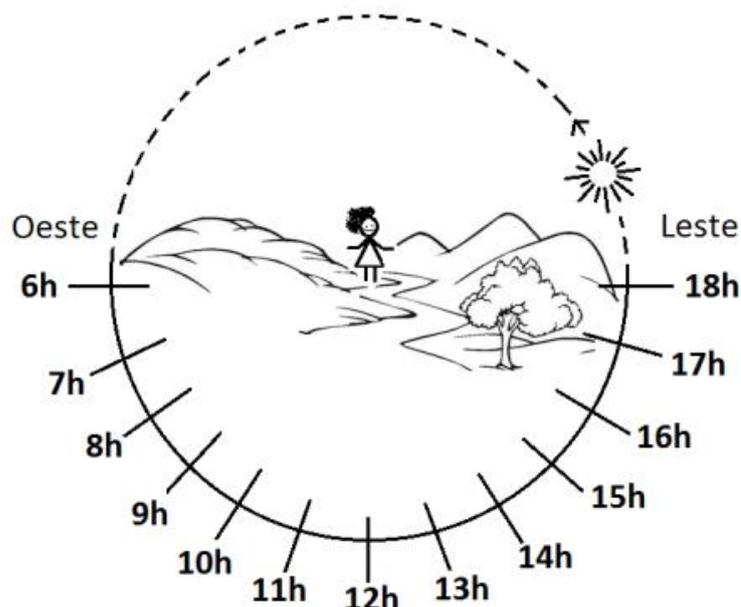


Figura 4.2: Princípio do relógio de sol. Fonte: elaborada pela autora

identificando nisso um padrão através do qual é possível medir as horas. A seguir estão alguns exemplos de respostas.

“A passagem do tempo. Sim, pois durante seu movimento marcamos as horas, e há um padrão, porque o sol sempre faz o mesmo movimento”

“Um ponteiro de um relógio. Sim, porque ele tem uma frequência de todos os dias nascer e se por. Repetindo o movimento dele.”

“Sim, pois a sombra do lápis é como se fosse o ponteiro do relógio e o Sol faz a mesma coisa todos os dias, portanto acabamos “gravando” (decorando) os horários.”

A segunda atividade, “Usando as estrelas para medir o tempo”, um pouco mais complexa, sugere a utilização das estrelas para se orientar no tempo, como num relógio de sol. A solicitação era “Faça um desenho de como você faria para se localizar no tempo usando as estrelas. Explique seu desenho.”

Todos eles desenharam a esfera celeste e indicaram o sentido do seu movimento. Alegaram que usariam um certo grupo de estrelas que aparecesse a Leste com o pôr-do-sol e que desaparecesse a Oeste ao amanhecer (já que a esfera celeste leva 12 horas para dar meia volta). Cinco destes alunos graduaram a cúpula celeste em horas de forma a imaginar nela um relógio cujo ponteiro é uma constelação escolhida com o critério anteriormente citado.

Nas Figuras 4.3 e 4.4, estão os desenhos feitos por dois alunos, com as respectivas transcrições das explicações dos desenhos.

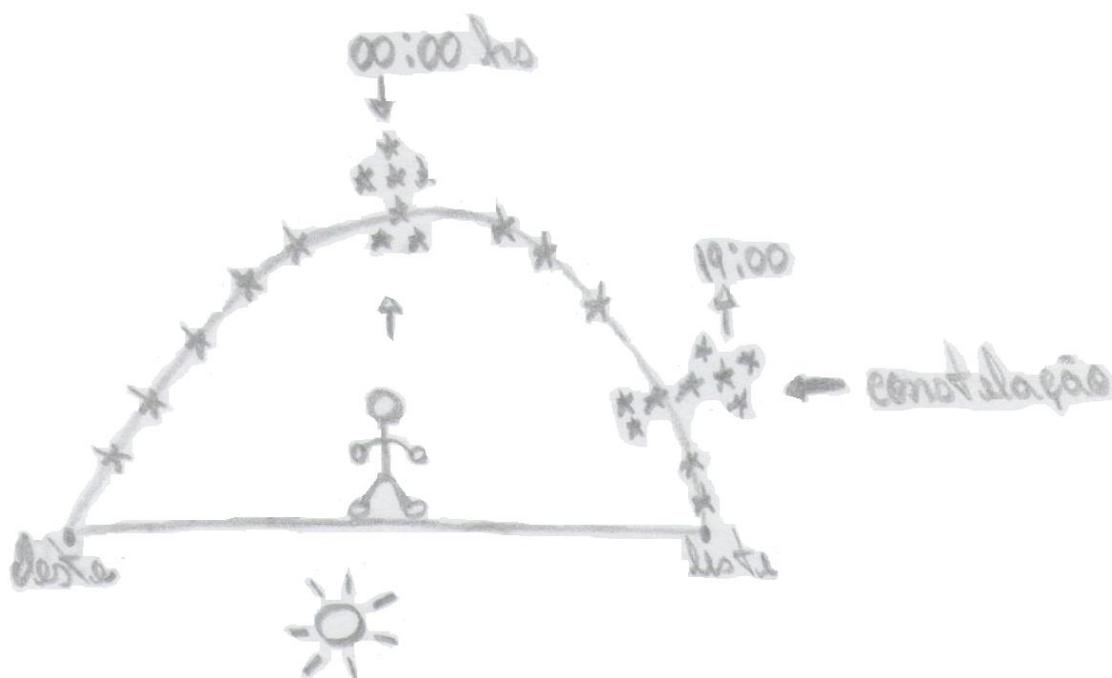


Figura 4.3: Atividade de um aluno. Fonte: Elaborado pela autora

Resposta relativa à Figura 4.3: “Eu identifiquei uma constelação às 19:00hs e às 00:00 ela (constelação) estava no seu ponto mais alto, porque do mesmo jeito que o sol nasce no leste e se põe no oeste, a constelação que eu vi fez a mesma coisa, e demorou a noite toda, que vai de 18:00 hrs até 6:00 da manhã.”

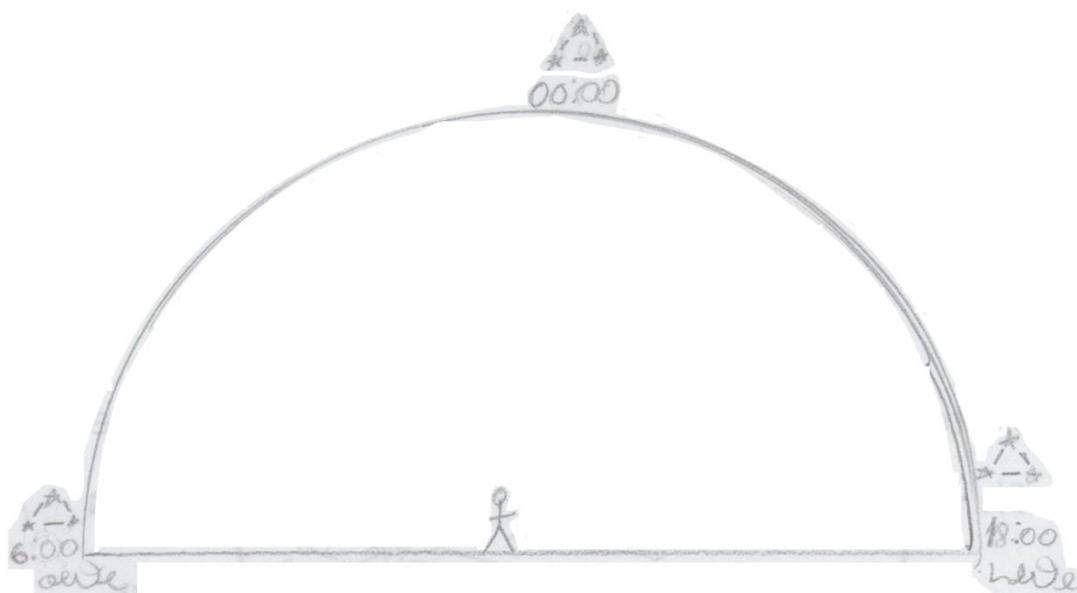


Figura 4.4: Atividade de um aluno. Fonte: Elaborado pela autora

Resposta relativa à Figura 4.4: “Analisando o por do sol e o nascer de uma determinada constelação, você pode analisar sua localização para determinar as horas, se a constelação aparecer assim que o sol se por (18 P.M. mais ou menos), quando a constelação aparecer no ponto mais alto (ou no centro) será 00:00 dessa forma você pode determinar outros horários.”

Consideramos o resultado da aplicação da tarefa extremamente satisfatória, pois, além dos ótimos resultados obtidos nas respostas, os alunos tiveram a oportunidade de se colocar como construtores do próprio conhecimento, quando submetidos a um processo que envolveu investigação e criação. Ressalta-se, ainda, que, os PCN do Ensino Fundamental, destacam, no âmbito do ensino de Astronomia, que:

no desenvolvimento desses estudos, é fundamental privilegiar atividades de observação e dar tempo para os alunos elaborarem suas próprias explicações. [...] Como fez a maioria da humanidade até há 5000 anos, o modelo de céu construído espontaneamente pelo aluno tem a Terra como ponto de referência central. Assim, é necessário organizar as observações dos movimentos que os alunos vêem em uma paisagem celeste que se move em relação ao horizonte, estimulando-os a elaborar suas próprias explicações, nas quais já podem incorporar algum conhecimento atual da ciência, ao mesmo tempo em que exercitam a linguagem descritiva e o desenho de observação. (BRASIL, 1998,p. 62)

Poder-se-ia considerar o apontamento descontextualizado, uma vez que é voltado ao ensino fundamental. No entanto, cabe ressaltar que alunos da primeira série do Ensino Médio são recém-chegados do Ensino Fundamental, e muitas vezes apresentam defasagens na aprendizagem em Astronomia, devido a diversos contextos, sendo um deles a formação deficitária no tema dos professores de Ensino de Ciências no Ensino Fundamental (LANGHI, 2014).

Na aula seguinte buscou-se fazer uma transição da perspectiva geocêntrica para a perspectiva de rotação da Terra, a fim de explicar o funcionamento do relógio de Sol. Isso, segundo Ausubel (2003), seria um processo de aprendizagem superordenada, no qual um conceito que antes poderia não estar relacionado com outro se funde a este, de forma que se tornem inseparáveis na estrutura mental do aprendiz. O objetivo era entender como a rotação da Terra estaria diretamente relacionada à compreensão de como funciona o relógio de sol. Buscou-se mostrar, então, que a rotação seria um conceito mais amplo, ao qual o nascer e o pôr-do-sol estariam subordinados. Então, isso que se vê, apreendido na perspectiva geocêntrica é, na verdade, uma consequência apreciável do movimento de rotação da Terra. A utilização da maquete representativa do globo terrestre com os meridianos e paralelos

devidamente traçados mostrou-se bastante motivadora para os alunos visualizarem e compreenderem sob o ponto de vista da rotação da Terra, como funciona um relógio de sol e como se dá a tradicional e conhecida visualização do arco que o Sol descreve no céu, nascendo na direção Leste e pondo-se na direção Oeste. Dessa forma, pode-se confirmar, através da vivência em sala de aula que “os seres humanos têm a tendência a trabalhar mais e sentem-se mais motivados quando as atividades de aprendizagem que iniciam fazem sentido” (AUSUBEL, 2000, p.16),

Nesta aula, ainda buscando solidificar o conhecimento acerca da medida do tempo utilizando-se o relógio de sol, foi abordada a diferença entre o tempo solar e o tempo civil, para que houvesse uma conexão com a realidade. Os alunos puderam perceber que, ao utilizar o relógio de Sol, ele não vai marcar necessariamente a hora dos seus compromissos, pois a hora oficial do Brasil é a hora de Brasília e com a variação da longitude dentro do mesmo fuso, existe uma variação no tempo solar. Dessa forma, para se utilizar o relógio de Sol como uma forma de tecnologia adaptada ao mundo real, no qual a medida do tempo é compartilhada por grandes faixas territoriais para que não haja conflitos de dados entre diferentes localidades, dever-se-ia ajustar o relógio de sol a essas condições. Por isso, ao final da aula, nós construímos, todos juntos, um relógio de sol adaptado à longitude de Petrópolis, de forma que este marcasse o tempo civil, e pudemos adaptá-lo, portanto, ao contexto em que estamos inseridos.

Perceba-se que até então havíamos omitido o fato de o eixo da Terra ser inclinado. Utilizando essa perspectiva, havíamos feito um modelo simplificado, pois as tarefas devem ter níveis crescentes de abstração e a dificuldade deve aumentar progressivamente numa UEPS. Assim sendo, a etapa seguinte foi pautada por executar um processo de diferenciação progressiva acerca dos movimentos dos astros, pois no questionário de conhecimentos prévios aplicados na primeira aula, ficou claro que muitos alunos não sabiam quais eram as consequências observáveis do movimento de translação da Terra. Nesse momento, baseamos-nos na hipótese de que para o ser humano é mais fácil diferenciar as partes do todo, do que construir um todo através das partes. Supõe-se, assim, que na estrutura mental haverá uma hierarquia de conceitos seguindo esse princípio (Ausubel, 2003). Por isso, os movimentos dos astros foram apresentados seguindo o modelo geocêntrico, e, aos poucos, fomos mostrando como que as partes na verdade operavam para que tivéssemos essa percepção dos movimentos. Primeiramente foi abordada a rotação da Terra e, para que agora pudéssemos abordar a translação da Terra, junto com sua rotação, e então diferenciar as consequências

desses dois movimentos. A problemática na qual isso se baseou foi a duração do dia, que, a princípio, era de aproximadamente 12 horas, mas que deixou de ser, quando demos o exemplo do sol da meia-noite. Com o eixo inclinado da Terra e a translação, esses dois fatores fazem variar drasticamente a duração do dia (vide horário de verão), de tal forma que a composição desses dois movimentos seja responsável pelo que nós vemos ocorrer. Ao longo de um dia, percebemos a consequência da rotação, mas ao longo de um ano vemos que esse movimento se diferencia lentamente. Esse processo de diferenciação progressiva deve ser incluído no planejamento das disciplinas, segundo Ausubel (2003), e foi dessa forma que buscamos facilitar o desenvolvimento do conteúdo, partindo de conceitos mais inclusivos, que progressivamente foram sendo diferenciados em suas minúcias e particularidades, até se chegar, enfim, a um modelo descritivo de Sistema Solar. Nesse momento, então, foi importante diferenciar também o movimento da Lua, mostrar que a translação da Lua é independente dos outros movimentos e por isso seu ciclo tem também um período de duração diferente dos demais.

Essa aula foi especialmente agradável, os alunos demonstraram grande interesse e disciplina. Ao final, quando foram trabalhadas as constelações do zodíaco, os alunos já estavam descrevendo os movimentos sem que eu perguntasse. Além das respostas assertivas dadas pelos alunos que permearam toda a aula, pode-se destacar o comportamento calmo e interessado da turma.

Na aula seguinte, a sequência teve seguimento mostrando-se o desenvolvimento histórico de calendários que se deu em virtude do conhecimento desses ciclos, mostrando que as origens das nossas medidas de tempo foram advindas do conhecimento do movimento periódico dos astros. Dando prosseguimento ao tema, ainda sob a problemática de se medir o tempo, abordamos o funcionamento de alguns outros tipos de relógios que não dependem das condições climáticas e, portanto, não se baseiam no movimento dos astros. Isso foi interessante, pois lembramos que as leis físicas ditas por Aristóteles, que seriam pertinentes ao mundo sublunar (Terra), seriam diferentes das leis físicas que regem os astros e dessa forma os relógios que seriam utilizados aqui se baseariam em algum tipo de movimento periódico, que teria que ser o movimento de algo na Terra. Poderia ser o movimento natural, como de uma ampulheta que deixa uma substância escoar livremente, ou o movimento violento, de um pêndulo ou relógio de corda, que usa a força elástica.

Porém, após de ter explicado os movimentos dos astros do sistema solar, na aula sobre os ciclos astronômicos, essa explicação dada para os movimentos por Aristóteles, que no

começo fora muito convincente, começou a não mais lhes fazer sentido. O entendimento do ciclo e movimento dos astros havia desvanecido qualquer possibilidade de se explicar os movimentos pela física dos elementos, que estava profundamente atrelada ao modelo geocêntrico. Nesse momento, os alunos começaram a ter críticas a esse modelo, evidenciando que os movimentos dos astros descritos nas aulas anteriores começaram a adquirir significado lógico em suas estruturas mentais, atribuindo-lhes uma inédita criticidade ao avaliar o assunto. Essa última aula havia sido planejada, justamente, para promover uma reconciliação integrativa entre as ideias. Segundo Ausubel (2003), essa seria a forma com a qual o indivíduo se apropria dos conceitos, que ficam, a partir daí, consolidados em sua estrutura cognitiva. Então, para reconciliar todos esses movimentos e entender porque todos eles ocorrem, foi utilizado o recurso de se explicar o princípio da gravitação de Newton, que mostrou que as leis físicas são as mesmas para a Terra e para os outros astros, assim como nós somos feitos da mesma matéria que as estrelas. Assim sendo, o que explicaria o movimento dos astros seria a força da gravidade. E não haveria, então, nenhuma diferença na força que atrai uma maçã para cair do pé para a força com que a Terra atrai a Lua para cair nela mesma. E o fato de os astros estarem caindo, uns nos outros, seria responsável por mantê-los em trajetórias orbitais, pois haveria uma direção preferencial de aceleração para todos eles. Foi aplicada a última tarefa do primeiro módulo da sequência. A pergunta feita foi “O Sol atrai a Lua com maior força do que a Terra o faz. Por que ele não ‘arranca’ a Lua da Terra?”

Dos dez alunos que entregaram a atividade, todos responderam de maneira sucinta, mas satisfatoriamente à questão. Considera-se que eles entenderam que os movimentos são ordenados no universo de uma maneira distinta à visão aristotélica, percebendo, agora, o movimento orbital como uma consequência da gravidade explicada por Newton. Alguns exemplos de respostas dadas estão transcritas a seguir:

- “Porque o sol atrai os dois ao mesmo tempo, como se fossem um só”
- “Porque tanto a Terra quanto a Lua estão caindo junto no Sol”
- “Porque a Terra também está “caindo” no sol.”
- “Porque o sol está puxando a Terra ao mesmo tempo com a mesma força fazendo eles ficarem presos.”

Em virtude da qualidade das respostas obtidas, especialmente nesta última tarefa sobre o movimento orbital, percebeu-se que os alunos demonstraram o entendimento da problemática proposta, e o fizeram com uma certa rapidez e facilidade.

Capítulo 5

Considerações finais

Nosso estudo foi norteado com o propósito de se desenvolver um conhecimento sólido em Astronomia que permitisse aos estudantes ter um modelo de Universo estabelecido em suas estruturas mentais. E optou-se por falar da Astronomia sob o enfoque das medidas de tempo, pois isso possibilitou que se construísse uma concepção de Universo pautada nas observações e experimentos feitos pelos seres humanos ao longo da História. Ensinar a Astronomia sob a perspectiva do tempo permitiu, ainda, atribuir a esse conhecimento um caráter de construção histórica no sentido de mostrar a verdadeira natureza da ciência e a maneira como muitas vezes ela se constitui com o propósito de resolver problemas, como foi o caso da Astronomia, que se desenvolveu, inicialmente com o propósito de se medir precisamente o tempo, o que possibilitou o desenvolvimento das civilizações como um todo. Buscou-se, com isso, entender quais os significados que o tempo adquiriu ao longo da história.

No contexto prático, destaca-se a riqueza dos conteúdos de Física abordados ao longo desta sequência didática. Para compreender os fenômenos astronômicos da maneira aqui trabalhada, aborda-se o movimento circular com ênfase aos seus aspectos conceituais, não se fazendo necessário, assim, matematizá-lo. O referencial sob o qual presenciamos os fenômenos não é o mesmo referencial comumente utilizado pela Astronomia, que utiliza, em geral, um sistema heliocêntrico para explicar alguns dos fenômenos observáveis. Uma vez que estamos confinados no planeta Terra, nossa percepção dos fenômenos observáveis se dá a partir de um referencial geostático, pois estamos acostumados à ideia de que o chão não se move. Trabalhar fenômenos sob a ótica de diferentes referenciais enriquece profundamente o estudo dos movimentos e permite, ainda, que o aluno concilie seus conhecimentos escolares em Astronomia com os fenômenos que observa cotidianamente. Entendendo a periodicidade dos movimentos dos astros, fica mais simples compreender porque estes deram origem a diversas formas de se contar o tempo, pois este era um relógio que independia da intervenção humana, mas apenas de sua observação e interpretação. Para criar relógios calendários, foi necessário ao homem, portanto, compreender fenômenos astronômicos, a fim de medir o tempo a curto e longo prazo. Alguns modelos de relógio, no entanto, não se baseavam no movimento dos astros, mas no movimento de sistemas previamente arranjados, baseados em forças elásticas ou a própria força peso. Outros, mais modernos, baseiam-se na contagem de

oscilações de objetos ou níveis de energia, que respeitam uma determinada frequência. Assim, percebe-se que a medida do tempo está condicionada à medida dos movimentos e, portanto, compreender como se mede o tempo pode ser um bom caminho para o professor de Física trabalhar o estudo dos movimentos. Uma vez que não requer habilidades matemáticas e por se tratar de um tema tão essencial à compreensão das grandezas físicas, este tema pode ser trabalhado logo no início da disciplina. Os conhecimentos prévios necessários a esse estudo são, essencialmente, a observação de alguns fenômenos da natureza.

Caso se queira abordar o tempo, ainda, sob o enfoque da relatividade, outros conceitos poderão ser trabalhados. Porém, a aplicabilidade do produto não é prejudicada pela complexidade do tema, uma vez que não carece, necessariamente, de ferramentas matemáticas. Assim, a presente sequência, representa uma forma de levar assuntos atuais de Física para a sala de aula, pois aborda, ainda, o espaço-tempo como forma de modelar o Universo, com exemplos fáceis e exercícios interpretativos.

A construção do conhecimento se deu pela substituição suave de paradigmas, no caso, migrando do paradigma aristotélico para o paradigma newtoniano. Em vez de escolher uma teoria para privilegiar, é interessante mostrar que “existe outro lado”. Que os nossos modelos científicos estão em construção e que novos cientistas são e sempre serão necessários para desempenhar esse papel. Daí a importância de criarmos uma nova geração cujos paradigmas não lhes causem tanto desconforto em colocar os pés sobre diferentes teorias científicas e sentir que ali é possível caminhar. Dando-se esse tipo de abertura, espera-se gerar uma mentalidade mais ampla e questionadora nos alunos.

Avaliando a sequência como um todo, as interações dos estudantes com o conhecimento em Astronomia, assim como a evolução nos resultados das atividades propostas indicam que esta parece ter adquirido significado na estrutura mental de boa parte dos alunos, fator que corrobora com sua potencialidade. E como a Astronomia teve como sua maior utilidade histórica o desenvolvimento das medidas de tempo, utilizar esse enfoque permitiu trabalhar antigos instrumentos e métodos, evidenciando o caráter frágil dos paradigmas científicos diante de problemas de ordem prática ou de novos resultados experimentais, e como a ciência está sempre se reinventando. Para endossar essa ideia, cabe destacar que “uma compreensão contemporânea do universo físico da vida planetária e da vida humana não pode prescindir do entendimento dos instrumentos pelos quais o ser humano maneja e investiga o mundo natural” (BRASIL, 2000, p. 93).

Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, Santo. *As confissões*. (Tradução Frederico Ozanam Pessoa de Barros). São Paulo: Edameris, 1964.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. (Tradução Lígio Teopisto). Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.
- _____. NOVAK, J. D., HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. 2ed., Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BAUMAN, Zygmunt. *Modernidade líquida*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001. _____. *Comunidade: a busca por segurança no mundo atual*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2003.
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais – 3o e 4o ciclos*. Brasília : MEC/SEF, 1998.
- _____. Ministério da Educação: *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio*. Brasília : MEC/SEF, 2000
- BRETONES, P. S. *A Astronomia na formação continuada de professores e o papel da racionalidade prática para o tema da observação do céu*. Tese de Doutorado, Campinas, 2006.
- CALLENDER, Craig. O tempo é uma ilusão?, *Scientific American*, São Paulo, n.61 (ed. especial), pp. 36-43, jun./jul. de 2014.
- CAMPOS, J. A. S. *Introdução às ciências físicas I*. v. 3. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.
- CAPRA, F. *O Tao da Física*. Um paralelo entre a física moderna e o misticismo oriental. (Tradução José Fernandes Dias). São Paulo: Editora Cultrix, pp. 126-145, 1975.
- CAVALCANTE, M.A. O ensino de uma nova física e o exercício de cidadania. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 21, n.4, dezembro de 1999.
- COELHO, P. M C. SOUZA, E. O. R. *Atividades práticas da X Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*. Disponível em: <http://www.oba.org.br/downloads/atividade_pratica_xoba.pdf>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.
- DUNCAN, D. E. *Calendário: a epopeia da humanidade para determinar um ano verdadeiro e exato*. (Tradução João Domenech). Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.
- FALCIANO, F. T. Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, 4308, 2009.
- FAUTH, A. C. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, pp. 585-591, 2007.
- FERREIRA, R. C.; SILVA, M. F. A. Uma proposta para a introdução da relatividade geral no ensino médio, *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Rio de Janeiro, 2007.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Movimento anual do Sol e as estações do ano*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016a.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Medidas de tempo*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/tempo.htm>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016b.

GADOTTI, V. R. L. et al. *Relógio das constelações*. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=aas&cod=_indefinidorelogiodascons>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.

GHISOLFI, E. S. *Sobre a Evolução Histórica do Conceito de Tempo e uma Investigação do Seu Significado entre Estudantes de Diferentes Níveis de Escolaridade*. Monografia. Porto Alegre, 2008.

GRIFFITHS, D. J. *Mecânica quântica*. (Tradução Lara Freitas), São Paulo: Pearson Prentice, 2 ed., 2011.

HESTER, J. et al. *21st century astronomy*, Nova Iorque: W. W. Norton & Company, 2002.

IACHEL, G.; NARDI, R. Algumas Tendências das Publicações Relacionadas à Astronomia em Periódicos Brasileiros. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v.12, n.02, pp.225-238, mai-ago, 2010.

KARAM, R.A.S. *Relatividade restrita no início do ensino médio: elaboração e análise de uma proposta*. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2005.

LANGHI, R. *Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental: repensando a formação de professores*. Tese de Doutorado, Bauru, 2009.

LEMONS, E. S. (Re) situando a teoria de aprendizagem significativa na prática docente, na formação de professores e nas investigações educativas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.5, n.3, p. 38-51, 2005.

_____. Aprendizagem Significativa: Estratégias Facilitadoras e Avaliação. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v.1, n° 1, abril. 2011.

LIMA, C. R. A. *Notas de aula de Física Moderna*. Capítulo 1: Teoria da Relatividade Especial. Disponível em: <http://www.fisica.ufjf.br/~cralima/index_arquivos/FisicaModerna/capitulo1.pdf>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

_____. O que é afinal aprendizagem significativa? *Curriculum*, La Laguna, Espanha, n. 25, pp. 29-56, 2012.

_____. *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.

_____. *Teorias de aprendizagem*. 2. ed.ampl. São Paulo: EPU, 2011.

_____. MASINI, E. F. *Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos*. 1. ed. São Paulo: Vetor, 2008.

MORTIMER, E. F. Evolução do Atomismo em Sala de Aula: Mudança de Perfis Conceituais. Tese de Doutorado, São Paulo, 1994.

MURDIN, P. *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Philadelphia : Institute of Physics Pub, 2001.

MUSSER, George. O tempo pode acabar? *Scientific American*, São Paulo, n.61 (ed. especial), pp. 44-51, jun./jul. de 2014.

NARDI, R.; LANGHI, R. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, pp. 41-59, 2014.

NASCIMENTO, I. M. *As representações sociais do tempo entre os cirurgiões dentistas após 30 anos de exercício profissional*. Monografia, Porto Alegre, 2003.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica – vol.1*. São Paulo: Blucher, 2002.

OLIVEIRA, M. P. P. et al. *Física em contextos: pessoal, social e histórico: movimento, força, astronomia*. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.

OLIVEIRA, R. S. Astronomia no ensino fundamental. Disponível em: <<http://www.asterdomus.com.br/>> Texto gerado em 1997. Acesso em: 1 novembro 2016.

OSBORNE, J. Approaches to the teaching of AT16 - the Earth in space: issues, problems and resources. *School Science Review*, v. 72, n. 260, p. 7-15, 1991.

OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física. Tese de Doutorado, Porto Alegre, 1999.

PELIZZARI, A. KRIEGL, M. L., BARON, M. P. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel, *Revista PEC*, Curitiba, v.2, n.1, pp. 37-42, jul. 2001-jul. 2002

ROBERTS, B. Pauli's Theorem is not a theorem (not as Pauli stated it). Disponível em: <<http://www.soulphysics.org/2013/09/paulis-theorem-is-not-a-theorem-not-as-pauli-stated-it/>> Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.

RONAN, C. A. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume 1: das origens à Grécia (Tradução Jorge Enéas Fortes). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

SANTANA, M. F., CARLOS, E. J. Regularidades e dispersões no discurso da aprendizagem significativa em David Ausubel e Paulo Freire. *Aprendizagem Significativa em Revista*. João Pessoa, v.3, pp. 12-22, 2013

SCHWARTZ, J. O momento criativo. São Paulo: Editora Best Seller, 1992.

SILVA, J. SOUZA, J., O ensino de Física em Botucatu, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

SITX, G. Tempo real. *Scientific American Brasil*, As múltiplas faces do tempo, São Paulo, n.5, pp. 50-53. out. 2002.

SOBEL D. *Longitude: a verdadeira história do gênio solitário que resolveu o maior problema do século XVIII* (Tradução Bazan Tecnologia e Linguística). São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

TERRAZZAN, E. A. Perspectivas para a inserção de física moderna na Escola Média. São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Educação – USP, 1994. Tese de doutorado.

TIPLER, P. A. *Física Moderna*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A., 1981

UGAROV, V. A., *Special Theory of Relativity*, (Tradução: Yuri Atanov). Moscou: Mir publishers, 1979.

Apêndice I

Produto Educacional

DE MOVIMENTO DOS ASTROS À QUARTA DIMENSÃO DO ESPAÇO: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA SOBRE O TEMPO AO LONGO DOS TEMPOS

Prezado(a) Professor(a):

Esta sequência é direcionada a alunos do Ensino Médio e tem por objetivo construir o conceito de tempo de maneira científica, a partir da percepção do homem da não-estaticidade da natureza e do Universo e da existência de periodicidade em alguns de seus ciclos, em especial os ciclos astronômicos. O professor irá trabalhar inicialmente a noção do tempo como um parâmetro definido através dos movimentos dos astros. Examinado, pouco a pouco, os amoldamentos coletivos para a medida do tempo, o professor poderá mostrar a noção clássica de tempo, desde suas primórdias contagens até a invenção dos calendários e fusos horários. A partir daí, o mundo vai historicamente se ajustando nos dias e nas horas civis até parecer em perfeita sincronia. Com essa abordagem, será possível desenvolver um modelo explicativo de Universo baseado, primeiramente, na visão geocêntrica, com os movimentos explicados por Aristóteles. A partir daí, far-se-á uma transição para a perspectiva heliocêntrica, explicando o conceito de órbita segundo a gravidade de Newton, e unificando, assim a física para toda a extensão do Universo.

O passo seguinte é desconstruir e reconstruir esse conceito de sincronia, com as ideias advindas da relatividade, o que levará a um novo conceito de simultaneidade. Com o problema da dilatação do tempo e da contração do espaço, o tempo terá que “mudar de status” e irá se aliar ao espaço, como sua quarta dimensão, para compor o que então será conhecido como espaço-tempo, um “lugar” onde as leis físicas são invariantes. Dessa forma, o professor poderá mostrar que, com a evolução da ciência, o tempo é concebido como estando essencialmente unido ao espaço, sendo parte de algo maior: o espaço-tempo.

A sequência foi elaborada para ser aplicada em 13 aulas duplas, sendo as 9 primeiras com enfoque na Astronomia e as quatro aulas seguintes serão para abordar o tempo sob a perspectiva da Relatividade. Planeja-se, com isso, mostrar os principais modelos de Universo, partindo-se da perspectiva geocêntrica para então explicar o movimento orbital dos astros na perspectiva da gravitação de Newton, e por fim, substituir esse modelo de força da gravidade por uma curvatura do espaço-tempo, conforme dita a Relatividade Geral. Com relação a isso, os PCN (BRASIL, 1998, p.40) destacam que:

“iniciar o estudo dos corpos celestes a partir de um ponto de vista heliocêntrico, explicando os movimentos de rotação e translação, é ignorar o que os alunos sempre observaram. Uma forma de desenvolver as ideias dos estudantes é proporcionar observações sistemáticas, fomentando a explicação de ideias intuitivas, solicitando explicações a partir da observação direta do Sol, da Lua, das estrelas e dos planetas.”

A presente sequência foi desenvolvida em formato de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, que consiste numa sequência de ensino-aprendizagem elaborada com base em teorias da aprendizagem, em especial a teoria da aprendizagem significativa. Uma vez que os significados são adquiridos e formados na estrutura mental do indivíduo, não se pode dizer do material que este seja significativo. Ele será potencialmente significativo desde que possibilite a aquisição de significados por parte do aprendiz através de seu uso ou aplicação. Só há ensino quando há aprendizagem. Portanto a sequência didática tornar-se-á significativa através da tríade professor, material e aluno, quando este último manifestar intenção em aprender e houver, ao fim do processo, evidências de que a aprendizagem significativa foi exitosa. A sequência foi desenvolvida de forma a evitar a aprendizagem puramente mecânica.

A montagem de uma UEPS iniciou-se definindo-se o tópico a ser abordado, e o tempo foi escolhido como temática central. Foi elaborado um material de apoio para a aplicação da UEPS que contém o conteúdo a ser trabalhado. Sendo o conhecimento prévio do aluno a variável mais importante da aprendizagem (AUSUBEL, 2003), é importante desenvolver organizadores prévios ao se introduzir qualquer assunto. Isso pode ser feito utilizando-se situações-problema, que exigirão dos alunos que construam modelos mentais para tentar solucionar o problema. É importante que, nessa fase inicial da aplicação da sequência, os aprendizes tenham oportunidade de externalizar seus conhecimentos prévios, pois o professor irá basear os próximos passos da sequência nos subsunçores de que os alunos dispõem previamente. Dessa forma, será possível introduzir os subsunçores necessários, assim como desfazer pequenos equívocos conceituais. Daí, parte-se de um modelo explicativo mais generalizado, para então introduzir-se o nível de particularidades necessárias. A diferenciação progressiva deve ser feita, então, dando-se detalhamento aos conceitos, classificando-os em subgrupos, estabelecendo-se hierarquias entre as partes, etc. Após esse aprofundamento no nível de complexidade dos detalhes do conteúdo em questão, devem-se unir novamente os conceitos, buscando integrá-los inequivocamente, diferenciando claramente significados e estabelecendo suas semelhanças, desfazendo, assim, todos os equívocos que restarem.

A avaliação da aprendizagem deve ocorrer ao longo da aplicação, registrando-se tudo que servir de evidência de que o estudante está aprendendo. O desempenho do aprendiz deve ser aferido por avaliações somativas juntamente a todas as outras formativas (situações, tarefas). Em busca do desenvolvimento do pensar crítico no aprendiz, os materiais usados devem ser diversificados, assim como os questionamentos devem ser profundamente valorizados. Ainda que atividades individuais sejam necessárias em alguns momentos, deve-se também priorizar atividades colaborativas a fim de que a troca de informações entre os estudantes contribua para uma construção coletiva. Por fim, a própria UEPS deve ser avaliada, a fim de se saber se é potencialmente significativa ou não. E essa só será considerada exitosa se houver evidências de que houve aprendizagem significativa por parte dos alunos. (MOREIRA, 2016)

A presente sequência é munida de textos de apoio, esquemas e atividades prontos para serem aplicados. A teoria da aprendizagem norteadora desta abordagem é a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, cujo foco está na estrutura mental do aluno. Por isso, a sequência é munida de diversas atividades nas quais os alunos terão a oportunidade de externalizar seus pensamentos e opiniões, a fim de que o desenvolvimento dos conceitos por parte do professor seja acompanhado pelo desenvolvimento da turma. A aprendizagem significativa é aquela que se dá de maneira não arbitrária e substantiva, ou seja, não literal. (MOREIRA, 1982). A estrutura cognitiva do aprendiz é composta por todos os seus pensamentos e ideias e lá estão presentes os subsunçores, que são as ideias âncora às novas matérias que se tem contato. Por isso, a sequência busca desenvolver os organizadores prévios necessários à aquisição de novos conhecimentos. As tarefas têm níveis crescentes de abstração e dificuldade, permitindo ao aprendiz aprofundar-se pouco a pouco nos conceitos abordados.

O TEMPO AO LONGO DOS TEMPOS: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Proposta de roteiro da sequência didática

Nas páginas que se seguem, o professor irá encontrar o planejamento detalhado de cada uma das aulas, seguido do material de apoio pertinente a cada aula. Recomenda-se disponibilizar esse material de apoio ao aluno, para facilitar o acompanhamento das aulas, assim como a realização das atividades propostas.

Aula 1: Investigação das concepções prévias sobre Universo, Terra, Sol e seus movimentos relativos.

No planejamento da 1ª aula, foi prevista a aplicação de um questionário, que tem como objetivo investigar as concepções prévias dos alunos sobre Universo, Terra, Sol, e seus movimentos relativos. Espera-se que, com isso, seja possível evidenciar os modelos de Universo concebidos por cada um dos alunos. De posse desse questionário respondido, o professor pode destacar os aspectos mais relevantes abordados pelos alunos. Assim, na aula seguinte poderá evidenciar de que maneira essas concepções se relacionam com o conteúdo que será abordado na próxima aula, o modelo explicativo de Universo segundo Aristóteles.

A aplicação de um questionário prévio se faz especialmente importante, pois, fornecer dados para que o professor possa ter ideia dos conteúdos pré-existent na estrutura mental dos alunos. Esse questionário pode ser passado no quadro, é composto das seguintes perguntas:

1. A Terra é plana ou redonda? Como você pode provar essa afirmação?
2. O Sol gira em torno da Terra ou a Terra gira em torno do Sol? Como você observa esse movimento?
3. Desenhe o Universo.

A primeira e a segunda pergunta têm como objetivo investigar o hábito de observação da natureza. Apesar das respostas para as perguntas serem muito conhecidas, as justificativas ou comprovações são complexas e são fruto de um longo estudo em Astronomia desempenhado ao longo da história. Ao final das duas perguntas, eles podem ser conduzidos a se questionar se eles têm como provar o que lhes foi ensinado, ou se eles simplesmente acreditaram que a Terra tem dois movimentos: translação e rotação.

A terceira questão foi elaborada para ser respondida em forma de desenho, mas o professor pode permitir que o aluno escreva um texto para explicar ou complementar seu desenho ou ainda simplesmente escrever por não se sentir capaz de desenhar. A expressão das ideias em forma de imagem permitirá ao professor observar a noção de medidas astronômicas, ordem de grandeza, etc. Pretende-se, com isso, investigar os modelos de Universo pré-existent nas estruturas mentais dos alunos.

Aula 2: Modelo aristotélico: Geocentrismo

Essa aula tem como objetivo estabelecer os organizadores prévios que permitirão aos alunos construir um modelo explicativo de Universo que lhes permita fazer uma observação mais criteriosa do movimento aparente dos astros.

A aula tem como objetivo mostrar a visão que se tem do universo a partir da Terra e para isso foi escolhido o modelo aristotélico explicativo do Universo. A escolha da utilização deste modelo se deu com base em sua importância histórica, além de ser um modelo mais simples de entender, uma vez que se baseia no referencial geostático, que é o que melhor evidencia a forma como o movimento dos astros é apreciado a partir do referencial da Terra.

Esse conhecimento será extremamente útil como base (organizadores prévios) para a utilização do relógio solar, pois todos esses instrumentos se baseiam na perspectiva de observação a partir do referencial da Terra. Ainda que com justificativas superadas, o modelo geostático representa de maneira satisfatória a observação atenta e registrada do céu, uma vez que não somos capazes de sentir nenhum dos movimentos da Terra. Além disso, esse modelo já destaca de maneira razoável (e até um pouco intuitiva em alguns casos) a periodicidade no ciclo dos astros, que será objeto de nossa análise. Ainda, a física dos elementos que Aristóteles utilizava para descrever o comportamento da matéria representa uma maneira de se tentar construir um modelo explicativo de universo, que justificava de maneira consistente (para sua época) os movimentos naturais, tanto dos corpos na Terra, quanto dos corpos celestes. Destaque-se que, nesse momento da história, as leis da natureza seriam distintas para a Terra e o resto do Universo, ideia que só foi derrubada após Isaac Newton propor suas famosas leis.

Explicar o Sistema Solar sob o ponto de vista heliocêntrico exigirá uma abstração muito maior, pois os movimentos serão descritos a partir de um referencial externo ao planeta Terra. Sendo assim, a evolução dos conceitos irá se dar para que, mais a frente, haja uma transformação das ideias, aumentando seu nível de complexidade e abstração.

Modelo Aristotélico: Geocentrismo

A Terra está no centro do universo sendo circundada pelos demais astros. Na figura, estão os astros que giram em torno da Terra, em ordem crescente de afastamento. A mais externa é a esfera das estrelas fixas.

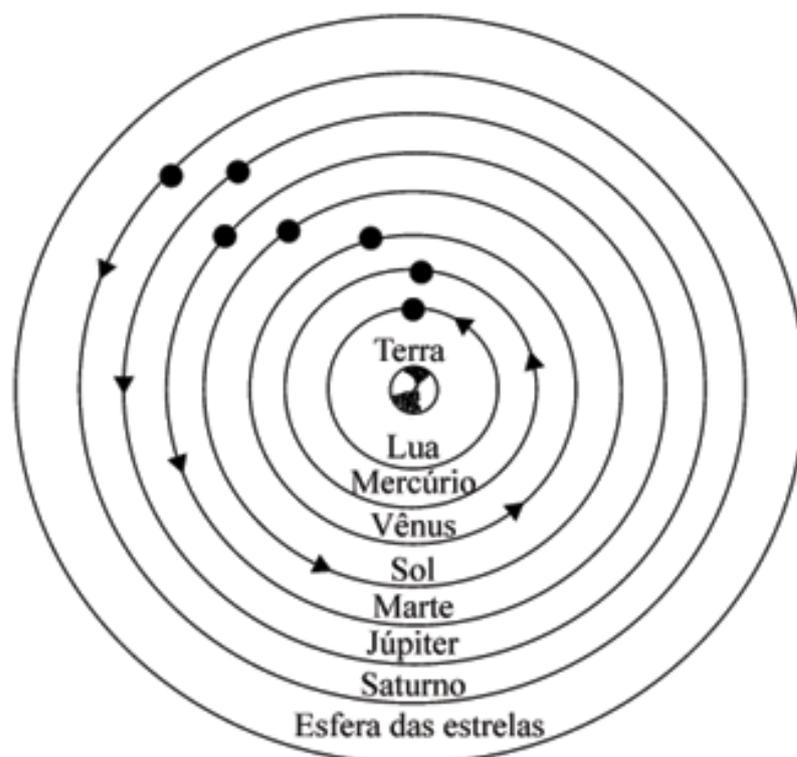


Figura AI.1: Modelo geocêntrico de Universo²

Descrição aristotélica do movimento		
Movimento natural		Movimento violento
Na região sublunar	Na região supralunar	Causado por um ente externo
Vertical	Circular e eterno	

Com base na descrição dos movimentos, Aristóteles justifica o movimento natural através da física dos elementos. Na região sublunar, tudo seria feito dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Os elementos buscariam seu lugar natural. Uma pedra cai porque é mais pesada que o ar, por exemplo. Já na região supralunar, os movimentos eram circulares e perfeitos, pois essa região seria feita de um quinto elemento, o éter, que também seria a matéria que compõe os astros.

² Disponível em: <http://www.benitopepe.com.br/2009/09/19/a-fisica-e-a-astronomia-de-aristoteles-%E2%80%93-uma-visao-geral/>

Aula 3: Constelações do zodíaco.

A fim de evidenciar os ciclos mais longos presentes nos movimentos dos astros, essa aula será sobre constelações do zodíaco. Poder-se-ia trabalhar, a priori, o ciclo anual da Terra sob a ótica das estações, que são a representação mais “familiar” que se conhece acerca do período de translação terrestre. Porém, esse é um fator que será testemunhado de diferentes formas a partir de diferentes latitudes. A localização geográfica do observador irá interferir no clima, que terá as quatro estações bem definidas apenas em zonas temperadas do globo. Num país de dimensões continentais como o Brasil, as características climáticas são muito difusas, de forma que usá-las como parâmetro de medida de tempo pode destoar do objetivo almejado. Há, no entanto, uma maneira inequívoca de se acompanhar o ciclo da translação da Terra, que não as estações do ano. As constelações do Zodíaco são aquelas que se posicionam atrás do Sol, em relação ao referencial da Terra, ao longo de um ano. A opção em se trabalhar, inicialmente, sob a perspectiva das constelações do zodíaco se deu por esse ser um fator que depende exclusivamente do céu. Além disso, diferentemente do ciclo anual das estações, este critério segue o mesmo padrão para os hemisférios Norte e Sul, de forma que se pode omitir, por ora, a questão pertinente à inclinação do eixo da Terra. Essa omissão proposital se deve ao fato de ainda estarmos descrevendo o movimento dos astros sob a perspectiva geocêntrica.

Para isso, primeiramente, define-se o que é constelação, um conjunto de estrelas que se observa em uma certa região do céu. Como o céu parece ter infinitas estrelas, a forma mais fácil de identificá-las é “ligando os pontinhos” em busca de desenhos. Pode-se ressaltar, por exemplo, que a constelação de Leão se parece com um leão quando ligamos suas estrelas com linhas imaginárias.

Pretende-se que a escolha do tema seja vantajosa por ser este um assunto relativamente presente no cotidiano das pessoas. Apesar de os ditos “signos do zodíaco” serem conceitos de astrologia, que não é uma ciência, estes se basearam, historicamente, na descrição precisa do movimento dos astros, que é nosso interesse nesse momento da sequência. Além disso, essa é uma boa oportunidade para se diferenciar Astronomia de astrologia e evidenciar que o conhecimento acerca das constelações do zodíaco se deu com base nos estudos em Astronomia. A astrologia era uma crença segundo a qual o movimento dos astros poderia estar relacionado às vidas pessoais dos indivíduos. Com o estudo das constelações do zodíaco, os alunos estarão diante de duas referências distintas para medir o tempo, a curto e a longo prazo, ambas presentes no cotidiano deles, ainda que não muito notadas. O correr do Sol e das estrelas sobre a abóboda celeste fatia em horas os dias que, se

agrupados, constituem um pacote ainda maior de tempo, o ano, que também pode ser medido observando o Sol e as estrelas, mas de um jeito mais elaborado, um em relação ao outro, e não apenas ambos em relação à Terra.

CONSTELAÇÕES DO ZODÍACO

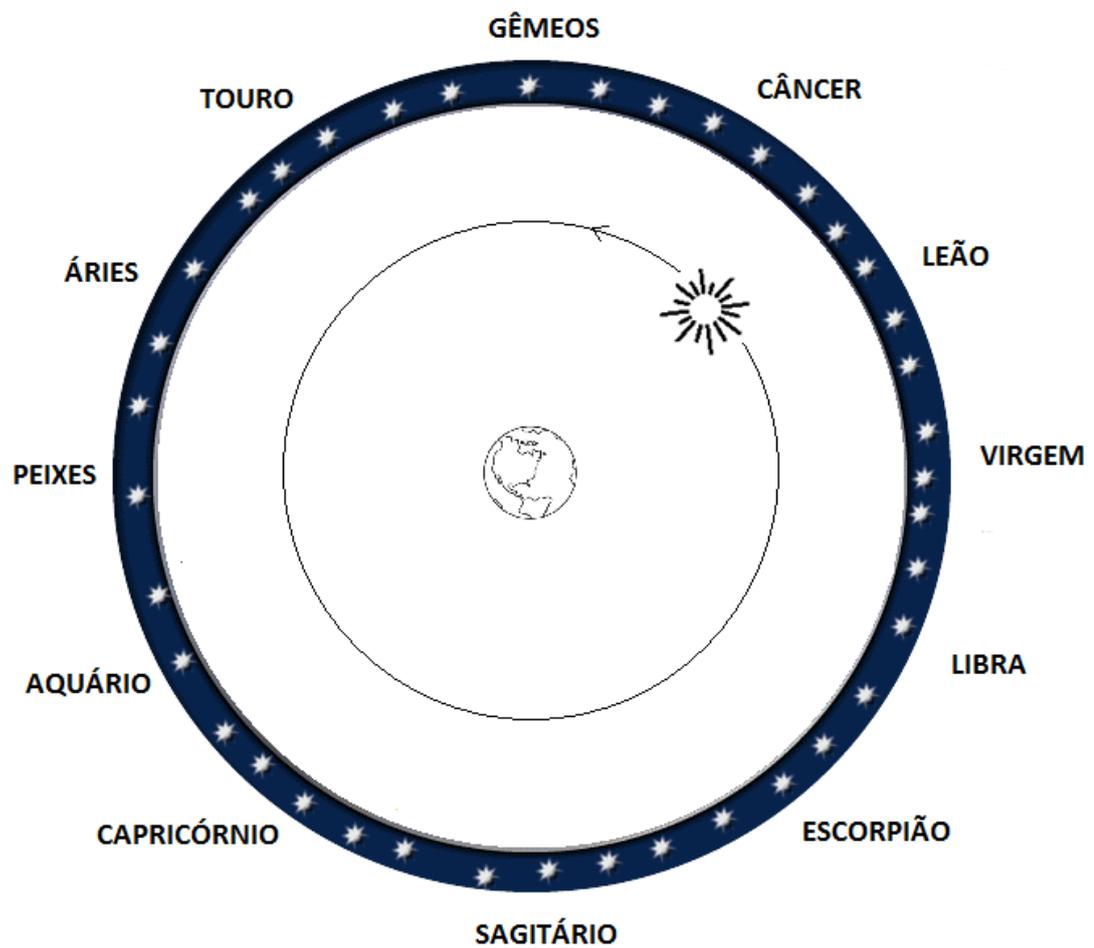


Figura AI.2: Representação das constelações do zodíaco sob a perspectiva geocêntrica.
Fonte: Elaborada pela autora

Aula 4: Atividade em dupla

A próxima etapa será a realização de uma atividade em dupla pelos alunos, que se divide em duas questões e exige uma reflexão sobre como é possível utilizar o movimento aparente dos astros para medir o tempo. A primeira questão traz uma letra de música que fala sobre o tempo e seu poder em curar feridas emocionais. Para isso, o compositor cita o movimento de rotação da Terra. É importante que os alunos percebam que é simples e usual entender e expressar a passagem do tempo através do movimento dos astros. Esta é uma atividade que exigirá dos alunos uma transformação intensa do conteúdo até então abordado, pois lhes solicitará que façam uma conexão entre o movimento de rotação da Terra e o aparente movimento de rotação que se observa no Sol e nas estrelas.

A segunda questão se apresenta como forma de uma problemática, na qual os alunos devem elaborar um esquema para medir a passagem do tempo, confinados em um reality show, sem relógios, papel ou caneta. Pretende-se, com isso, causar uma reflexão crítica nos alunos sobre a utilidade de se conhecer o movimento dos astros. A descrição precisa destes permite-nos prever seus “próximos passos”, de forma que, sendo tão ordenados, possam servir como marcação para o tempo. A atividade foi planejada para ser feita em dupla para que, conversando entre si, os alunos possam explorar mais sua criatividade e suas ideias possam se complementar, ao que possam se auxiliar mutuamente na busca pela solução do problema. Além da problemática gerada, o registro escrito das respostas dos alunos permitirá ao professor avaliar se a sequência está surtindo resultados positivos na compreensão dos conceitos iniciais sobre observações astronômicas.

Nos minutos finais da aula, sugere-se a aplicação de mais duas questões de múltipla escolha justificada, a fim de se acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem sobre a periodicidade no ciclo dos astros. A primeira aborda a forma como podemos mensurar a passagem do tempo olhando para o céu, questionando qual destes, dentre Lua, Sol, estrelas e nuvens não seria um bom parâmetro. A segunda questão é composta pela figura de um relógio de Sol com os números ocultados, solicitando aos alunos que façam a leitura das horas, para investigar se eles compreendem o princípio do funcionamento do deste instrumento de medida de tempo.

Exercícios

QUESTÃO 1: A letra de música abaixo fala de como a passagem do tempo tem o poder de nos distanciar sentimentalmente do passado, conforme o acúmulo de novas experiências compõe um novo tempo dentro de nós.

Só o tempo – Barão Vermelho

*Aqui o sol está fervendo
E você às vezes pensa demais
Você diz estar sofrendo
Mas também não decide se fica ou se vai*

*Lágrimas são feitas para rolar
Pessoas vêm e vão
Contra o fato não se pode lutar
Hoje, o fim não é opção*

*Só o tempo abaixa a poeira
Só o tempo cicatriza a perda
Só o tempo*

*O mundo gira como um pandeiro
Depois da chuva, tudo passará
O que foi triste em fevereiro
Não se preocupe, meu bem, um dia vai mudar*

*Quem sorriu com a maternidade
Conhece a curva do tobogã
Quem procura oportunidade
Sabe que a vida tem amanhã*

*Só o tempo abaixa a poeira
Só o tempo cicatriza a perda
Só o tempo*

No verso “O mundo gira como um pandeiro”, um fenômeno astronômico é explicitado, que é a rotação da Terra. Como implicação deste fenômeno, é possível medir o tempo através do movimento aparente do Sol e das estrelas. Explique porque o movimento da Terra tem uma íntima ligação com a nossa percepção (e contagem) da passagem do tempo.

QUESTÃO 2: Nos dias de hoje, vivemos aflitos por não acompanharmos o correr das horas. O poema a seguir, de dois séculos antes de Cristo, nos leva a refletir sobre a forma como a consciência incômoda da passagem do tempo subjulga a liberdade de viver em razão das

sensações. Sobre a inquietude advinda da consciência do tempo, Titus Maccius (apud Stix, 2002, p. 51) escreveu:

*Os deuses instilaram
ansiedade no primeiro
homem que descobriu*

*Como distinguir as horas.
Produziram, também,
ansiedade naquele
Que neste lugar construiu
Um relógio de sol,
Para cortar e picar meus
dias tão desgraçadamente*

Em pedacinhos!

Em alguns reality shows é comum se manter participantes em confinamento, sem acesso a relógios, calendários e até mesmo papel e caneta que lhes permita anotar os dias passados. A intenção nesses programas é mostrar as relações sociais diante de obstáculos e limitações. E uma dessas limitações é o desconhecimento da medida do tempo, que lhes causa ansiedade. Esses programas podem durar meses. Com base nisso, responda:

- a) Como você faria para construir um relógio de sol?
- b) Como você iria marcar a passagem dos dias e semanas?
- c) Você acha que seus métodos alternativos de medir o tempo se assemelham aos métodos do homem primitivo?
- d) Imagine passar um mês sem saber as horas fora de um reality show. Quais seriam as implicações na sua vida? (Ou seja, o que você não conseguiria mais fazer devido a isso?) Dê exemplos.

QUESTÃO 3 Podemos perceber e mensurar a passagem do tempo, EXCETO:

- a) Pelo movimento das estrelas
- b) Pelo movimento do Sol
- c) Pelo movimento das nuvens
- d) Pelo movimento da Lua

Justificativa: _____

QUESTÃO 4 O *relógio de sol* é um instrumento que mede a passagem do tempo pela observação da posição do Sol.

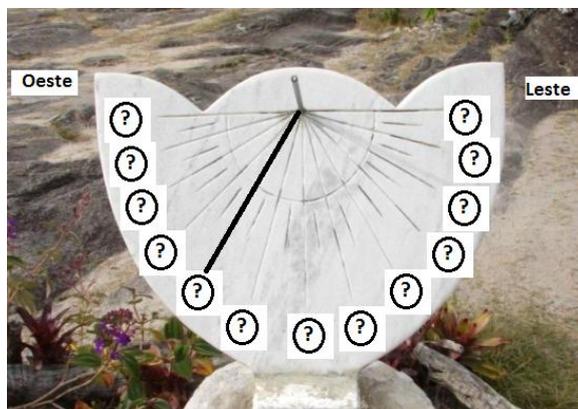


Figura AI.3: Relógio de Sol com os números ocultados..Fonte: tripadvisor³

No relógio de Sol acima, foram omitidos os valores correspondentes às horas, que marcam de 6 da manhã às 6 da tarde. Pode-se dizer que a hora marcada pela projeção da sombra equivale a:

- a) 2 horas da tarde
- b) 3 horas da tarde
- c) 1 hora da tarde
- d) 11 horas da manhã
- e) 10 horas da manhã

Justificativa: _____

Aula 5: Usando os astros para medir o tempo

Para esta aula foi planejada uma atividade que pretende auxiliar os alunos a construir um modelo mental que solucione de maneira satisfatória a problemática da atividade anterior, que consistia em construir um relógio de sol. Continuaremos explorando o movimento de rotação da Terra, porém ainda a partir da perspectiva geocêntrica. Durante o dia, vê-se o Sol correr. Durante a noite, quando o Sol se põe, no entanto, outros astros aparecem no céu, que são as estrelas, e elas também se movimentam ao longo de uma noite. Por isso, desenvolveu-se uma tarefa no qual os alunos irão explorar o movimento aparente dos astros para medir o tempo. Para realizar essa atividade, os alunos vão utilizar uma lanterna, que pode ser do celular, para simular a luz do Sol e o lápis para projetar uma sombra que irá correr conforme corre o ponteiro de um relógio na atividade proposta. Na primeira parte, o farão usando o Sol, simulado pela lanterna, que irão correr sobre uma figura que os auxiliará a compreender o princípio do funcionamento de um relógio de sol.

A segunda parte da tarefa, que consiste em construir um modelo que permita utilizar o movimento das estrelas para continuar medindo o tempo ao longo da noite. Pode-se explicar esfera celeste se movimenta ao longo de uma noite de maneira semelhante ao Sol, e com isso as horas podem ser marcadas à noite pelo nascimento de determinadas constelações. As constelações vão aparecendo com o correr da noite e é possível utilizar seu surgimento para marcar as horas, de acordo com o instante de seu aparecimento. Mas não só isso. Caso não se conheça as constelações que estão no céu, é possível observar durante a noite uma determinada constelação que apareça quando o Sol se põe, e acompanhar o seu movimento ao longo da noite. A ideia de escolher um certo grupo de estrelas que apareça no instante em que o Sol se põe, pois esta estará visível (aproximadamente) a noite inteira. A partir da sua posição no céu, é possível determinar as horas de maneira muito semelhante à que se faz com o Sol. Porém, nesse caso, como a luz das estrelas não é intensa o suficiente para projetar nenhuma sombra, é necessário então apontar para essas estrelas, traçando uma reta imaginária a partir da sua localização até a localização dessas estrelas na esfera celeste, pois essa reta imaginária vai correr da mesma forma que corre o ponteiro do relógio. Assim, a segunda tarefa solicita aos alunos que desenhem como eles fariam para utilizar as estrelas para medir o tempo ao longo da noite, explicando o seu desenho.

USANDO O SOL PARA MEDIR O TEMPO

Você provavelmente já ouviu dizer que o Sol nasce a Leste e se põe a Oeste, descrevendo um arco no céu. Sabemos que a luz do dia dura, em média, aproximadamente 12 horas, para nós que vivemos em um país tropical. Como é possível usar o movimento do Sol para tentar medir a passagem do tempo, ao longo de um dia?

Vamos fazer um experimento: Posicione a ponta de seu lápis sobre os pés da menina na figura. Mantenha seu lápis nessa posição e perpendicular à folha (como se fosse furá-la). Utilize uma pequena lanterna (pode ser do celular) para simular a luz do Sol. Coloque a lanterna sobre a figura do Sol, apontando na direção do lápis. Observe a sombra projetada.

Agora corra a lanterna sobre a linha tracejada, sempre apontando na direção do lápis, simulando o movimento do Sol ao longo de um dia. Observe o movimento da sombra projetada pelo lápis.

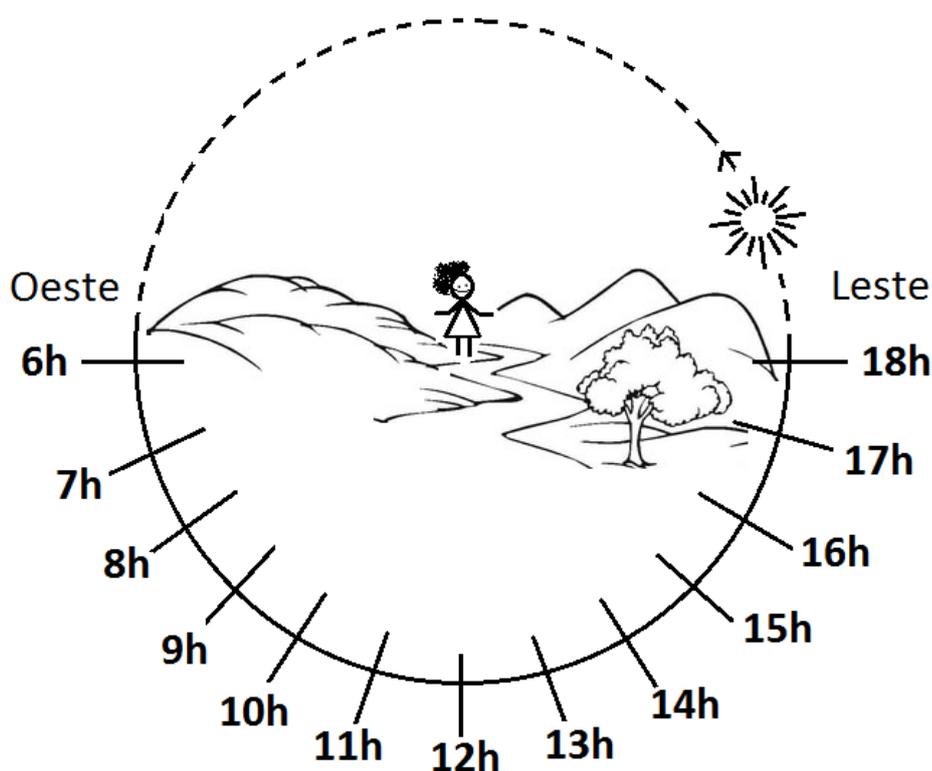


Figura AI.4: Princípio do relógio de sol. Fonte: elaborada pela autora

O que o movimento da sombra do lápis sugere para você? É correto dizer que você utilizou o Sol como um relógio? Por que?

USANDO AS ESTRELAS PARA MEDIR O TEMPO

Da mesma forma que o Sol nasce a Leste e se põe a Oeste, descrevendo um arco no céu, assim fazem as estrelas ao longo da noite. Só que diferente do Sol, que é único no céu, a noite parece revelar infinitas estrelas. Faz-se necessário identificá-las, caso se queira acompanhar seu movimento. A maneira mais simples de identificá-las é tentar associar um certo grupo de estrelas a uma figura. É como ver desenho em nuvens, e assemelha-se muito ao conceito de constelação.

Sabendo que, assim como o dia, a noite dura, em média, aproximadamente 12 horas, como é possível usar o movimento das estrelas para tentar medir a passagem do tempo, ao longo de uma noite?

Faça um desenho de como você faria para se localizar no tempo usando as estrelas. Explique seu desenho.

Aula 6: Construção de um relógio de Sol que marca o tempo civil

Esta aula foi planejada para se fazer uma transição do modelo geostático para o modelo em que a Terra rotaciona. Como observamos o movimento a partir do referencial da Terra, nossa perspectiva é geostática. Pretende-se mostrar, sob as duas perspectivas, como opera um relógio de Sol. Para isso, planeja-se então utilizar uma maquete feita com uma bola de isopor representando Terra e um minirrelógio de sol preso a ela, e uma lâmpada ou lanterna apontada para a Terra, representando a luz do Sol. Girando a Terra lentamente, será possível mostrar que a projeção da sombra da haste do relógio de sol gira junto com a Terra, e esse é o princípio básico do seu funcionamento. Após isso, planeja-se discutir com os alunos a questão do tempo civil e do tempo solar e para isso vamos construir um relógio de sol. Porém é importante lembrar que o relógio de sol não vai marcar exatamente a hora que o aluno vai ver no relógio de pulso (ou do celular) dele. Isso porque o tempo civil é diferente do tempo solar. A princípio, espera-se que o relógio marque o meio-dia quando o Sol está no ponto mais alto de sua trajetória no céu. Porém, isso não vai acontecer de fato, porque nosso tempo é marcado e compartilhado em várias regiões estados do território brasileiro de acordo com a hora oficial de Brasília. Isso quer dizer que uma pessoa no Pará e uma pessoa no Recife vão marcar a mesma hora no relógio, porém para essas pessoas o Sol estará, naquele mesmo instante, em posições diferentes no céu, marcando, portanto, horários diferentes nos relógios de Sol, que se utiliza dos astros.

Para entender porque isso acontece, será necessário introduzir o conceito de fuso horário. Isso vai permitir ao aluno entender porque um horário que é igual para todos no relógio de pulso (nos relógios civis) vai ser diferente do que se mede com os astros. E a partir daí então nós poderemos construir um relógio de sol junto com a turma que seja adaptado para marcar não o tempo solar, mas sim o tempo civil. Um texto de apoio sobre fusos horários e o tutorial para a construção do relógio encontram-se disponíveis no material de apoio para esta aula. Para isso deve ser feita uma correção que leva em consideração a longitude do local onde se pretende instalar o relógio. E a diferença desse valor com relação ao valor atribuído à longitude do meridiano central do fuso, que é aquela localização onde a hora legal (tempo civil) corresponde ao tempo solar. Qualquer desvio longitudinal a Leste ou a Oeste com relação a esse meridiano central do fuso irá causar um adianto ou um atraso no relógio solar. Se a cidade estiver a Leste, o seu relógio solar estará adiantado em relação ao tempo civil. Se a cidade estiver a Oeste, então o relógio solar estará atrasado em relação ao tempo civil. Para

fazer essa correção deve-se então somar ou subtrair 4 minutos de tempo a cada um grau variação a Oeste ou a Leste em relação ao meridiano central do fuso. Para isso foi elaborado um tutorial com o passo a passo da construção do relógio e também um tutorial de uma maquete. Será interessante utilizar uma maquete também do planeta Terra para mostrar, não a partir da perspectiva geocêntrica, mas do ponto de vista da rotação da Terra, porque o relógio solar marca a hora da maneira que o faz. O professor necessitará de uma lanterna para simular a luz do Sol, para mostrar então aos alunos, a partir da perspectiva da rotação da Terra como funciona o relógio de sol e como funcionam os fusos horários. Assim sendo, planeja-se, ao final da aula, construir, junto com a turma, um relógio de sol que marque o tempo civil para a sua cidade, conforme tutorial disponível no material de apoio.

Despedaçando o tempo: A invenção dos fusos horários

Nosso planeta leva 24 horas para completar uma rotação. Para cada longitude, o Sol estará num ponto diferente do céu, num mesmo instante de tempo. Dividindo-se a terra em 24 faixas iguais, cortando-a de Norte a Sul, obtêm-se os fusos horários. Nessas faixas, por convenção, adota-se um mesmo horário, a hora civil. O convênio internacional dos fusos horários foi adotado para facilitar a conversão do tempo entre diferentes localidades. Antes disso, cada país adotava o fuso horário correspondente ao meridiano que o cortasse. Não havia uma regra internacional. Com a criação dos fusos horários, os vinte e quatro meridianos que fatiam a Terra passaram a demarcar faixas territoriais que compartilhariam a medida de tempo. Com isso, houve o ajuste internacional de uma contagem de tempo em comum. A cada faixa, adianta-se uma hora. O território brasileiro abarca três fusos. (NUNES, 2011) No entanto, como as fronteiras geográficas não são linhas retas, os fusos podem seguir formatos irregulares, acompanhando essas fronteiras.

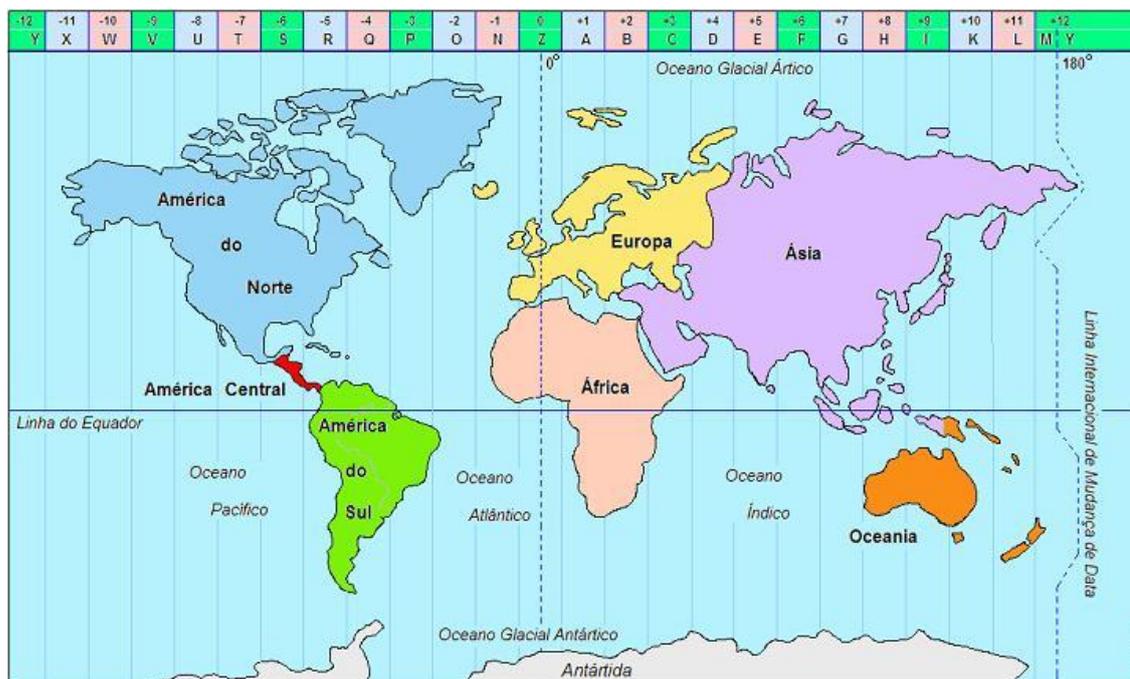


Figura A1.5: Fusos horários no mundo. Fonte: Só geografia⁴

No Brasil, havia 4 fusos diferentes. Em 2008, extinguiu-se o 4º fuso, que foi agregado ao 3º fuso. Assim, o Brasil tem 3 fusos: o 1º abarca Fernando de Noronha, o 2º contempla as regiões Sul, Sudeste, Nordeste e os estados do Pará, Tocantins, Goiás e Amapá.

⁴ Disponível em: <http://www.sogeografia.com.br/Conteudos/fusos/>



Figura A1.6: Fusos horários no Brasil. Fonte: Hora de Brasília⁵

⁵Disponível em: <http://www.horadebrasil.com/fuso-horario.php>

CONSTRUÇÃO DE UM RELÓGIO DE SOL QUE MEDE O TEMPO CIVIL

Materiais:

- Papelão
- Transferidor
- tesoura
- cola

Para fazer a base do relógio, corte um quarto de circunferência de papelão. Consulte o valor da Latitude da sua cidade, e use o transferidor para medir esse ângulo na base. Corte esse pedaço e retire-o.

Para construí-lo em Petrópolis, cuja latitude vale **-22.5046** ($22^{\circ} 30' 17''$ Sul), deve-se fazer esse corte com $22,5^{\circ}$.

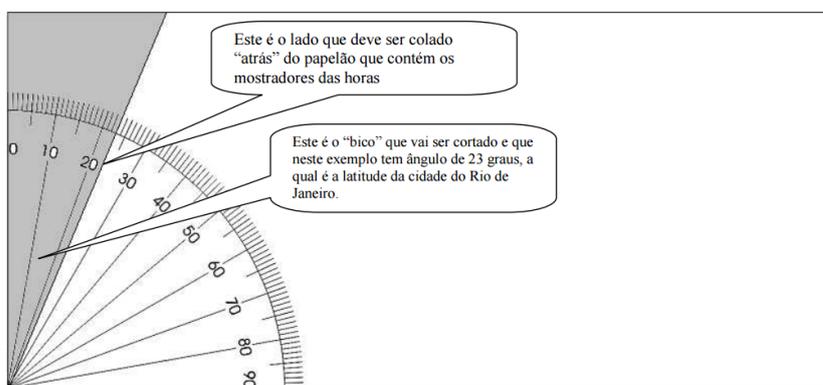


Figura A1.7: base d relógio de sol. Fonte: OBA⁶

Corte o papelão para moldar o relógio, você vai colar as figuras acima nos dois lados, de forma que um fique atrás do outro, **MAS NÃO FAÇA ISSO AINDA**. Caso você o faça, terá um relógio que mede o tempo solar

⁶ Disponível em: http://www.oba.org.br/downloads/atividade_pratica_xoba.pdf

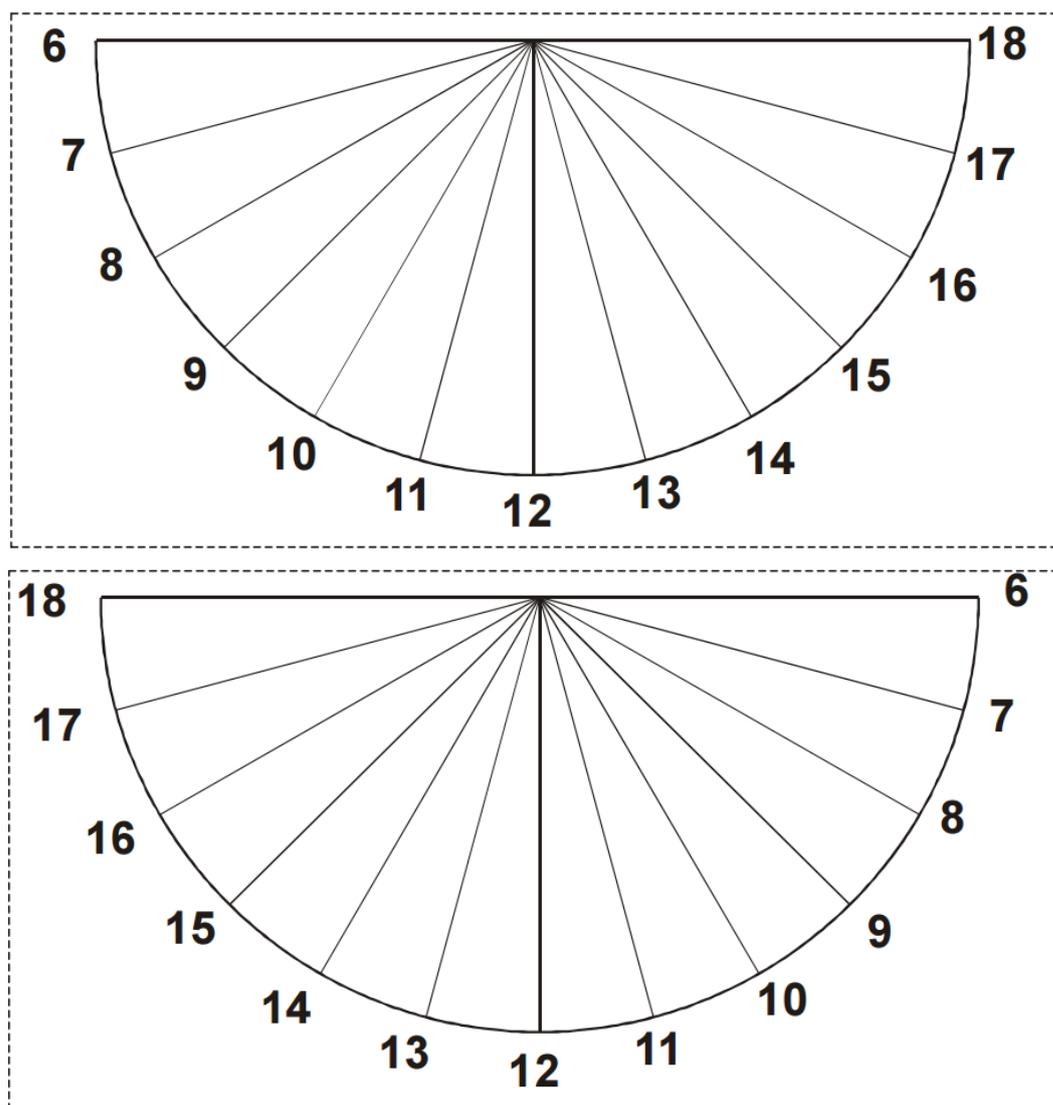


Figura AI.8: Relógio de sol. Fonte: OBA⁷

. Para medir o tempo civil, deve-se levar em consideração a longitude do meridiano central do fuso a que sua cidade é pertencente. No caso das regiões Sudeste, Sul e Nordeste, ela vale 45° W (a Oeste de Greenwich). Verifique qual é a longitude da sua cidade. Subtraia esse valor de 45° , assim $45^\circ - \text{longitude} = \text{resultado}$.

Se esse resultado for positivo, a cidade está mais a leste do fuso e, portanto, verá o amanhecer mais cedo. Deve-se rotacionar a figura que marca as horas no sentido anti-horário, quantos graus forem encontrados no resultado da subtração. Se o valor encontrado for negativo, a cidade verá o amanhecer tardiamente. O relógio deve ser rotacionado no sentido horário. Cada grau rotacionado representa uma diferença de 4 minutos.

⁷ Disponível em: http://www.oba.org.br/downloads/atividade_pratica_xoba.pdf

Em Petrópolis, a Longitude vale **-43.1823** ($43^{\circ} 10' 56''$ Oeste), subtraindo esse valor de 45° , o resultado vale $1,8177^{\circ}$, o que quer dizer que temos que atrasar o relógio em aproximadamente 7,3 minutos. A figura é meramente ilustrativa, ou seja, você deve medir o desvio angular em relação a uma linha nivelada, fazendo o ajuste conforme ilustrado. Cole o relógio na base, devidamente rotacionado, e ele medirá o tempo civil.

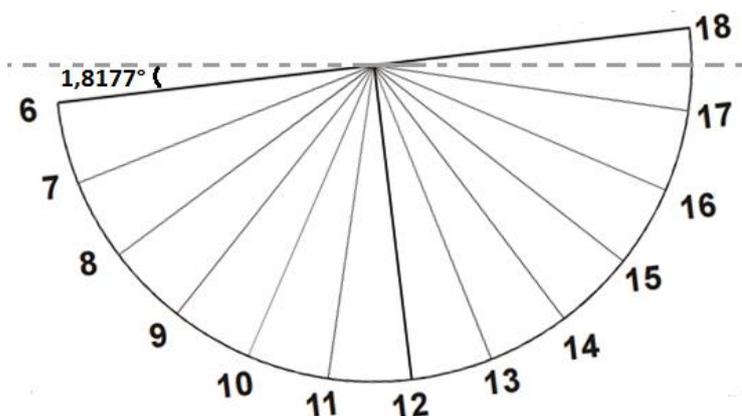


Figura AI.9: Relógio de sol adaptado à longitude. Fonte: elaborado pela autora.

Aula 7: A dança dos astros

Esta aula foi planejada para se ensinar aos alunos um modelo explicativo do sistema solar, descrevendo os movimentos da Terra e da Lua, e alguns fatores que esses movimentos implicam em nossas vidas. Planeja-se correlacionar a perspectiva desses movimentos a partir do referencial geostático com a perspectiva do referencial externo, que enxerga a Terra em movimento. A partir daí, espera-se tornar possível ao aluno visualizar as causas dos movimentos aparentes dos astros (os que ele observa da Terra) a partir de um referencial externo ao planeta. Para fazer a transição do modelo geocêntrico, até então estudado, para o modelo heliocêntrico do nosso sistema solar, teremos que abordar o movimento de translação da Terra. E uma forma como enxergamos esse movimento é devido à duração dos dias que se transforma ao longo do ano. Muitos sabem que o inverno tem os dias mais curtos e o verão tem os dias mais longos, e isso irá se justificar, não pela rotação, mas pela translação. Para facilitar a compreensão e a visualização desses movimentos, recomenda-se a utilização de pequenas esferas para simular a Terra (e posteriormente também a Lua). Foi planejado utilizar-se uma lâmpada para representar o Sol e assim, levando os alunos a um lugar escuro, seria possível mostrar os motivos pelos quais acontecem o dia e a noite, as fases da Lua, e, ainda, a variação da posição das constelações do zodíaco ao longo de um ano.

Esse arranjo experimental permitirá mostrar, no movimento de translação da Terra, os solstícios e equinócios, discutir as estações do ano, mostrando como varia a duração do dia e da noite. Permitirá mostrar também o movimento de translação da Lua em torno da Terra, para explicar porque esse movimento não está em consonância com nenhum outro. Evidenciar como acontecem as fases da Lua, e atentar para o fato de que o ciclo de translação da Lua é independente do ciclo da Terra e por isso ele segue em tempo diferente do que se mede nos ciclos da Terra.

Para trabalhar também o ciclo anual das estrelas, sugere-se imprimir as constelações do zodíaco disponíveis no Apêndice II, uma em cada folha. Daí pode-se solicitar doze alunos para participarem, colando em suas barrigas as constelações, com fita adesiva. Fechando-os em círculo, na ordem correta, e o professor se abaixando no meio, com a lâmpada, basta girar um pequeno globo em torno da lâmpada, para mostrar que as constelações do zodíaco são aquelas que estão atrás do sol ao longo da translação da Terra.

Destacar o tempo de duração de cada um desses movimentos é interessante pois isso irá introduzir o assunto da próxima aula, que será sobre a história do nosso calendário e das medidas de tempo a longo prazo. Esse poderá ser um prelúdio de que as medidas de tempo em

nosso calendário surgiram da precisão periódica dos movimentos dos astros que estudamos em nossa aula.

A DANÇA DOS ASTROS

Ciclo solar

A Terra possui uma inclinação no sentido da sua rotação com relação ao plano varrido por seu movimento orbital. Essa inclinação é responsável pelas estações do ano, ora com o hemisfério Sul passando mais horas do dia iluminado, ora com o hemisfério Norte. Por isso, quando é verão no Brasil, é inverno nos Estados Unidos. O solstício de inverno é a data do ano com duração da luminosidade do dia mais curta e o solstício de verão é o dia mais iluminado do ano. Os equinócios, tanto de outono quanto de primavera correspondem a dias do ano em que a noite e o dia têm igual duração (12 horas). A figura abaixo toma como referência o hemisfério Sul para datar os solstícios e equinócios. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

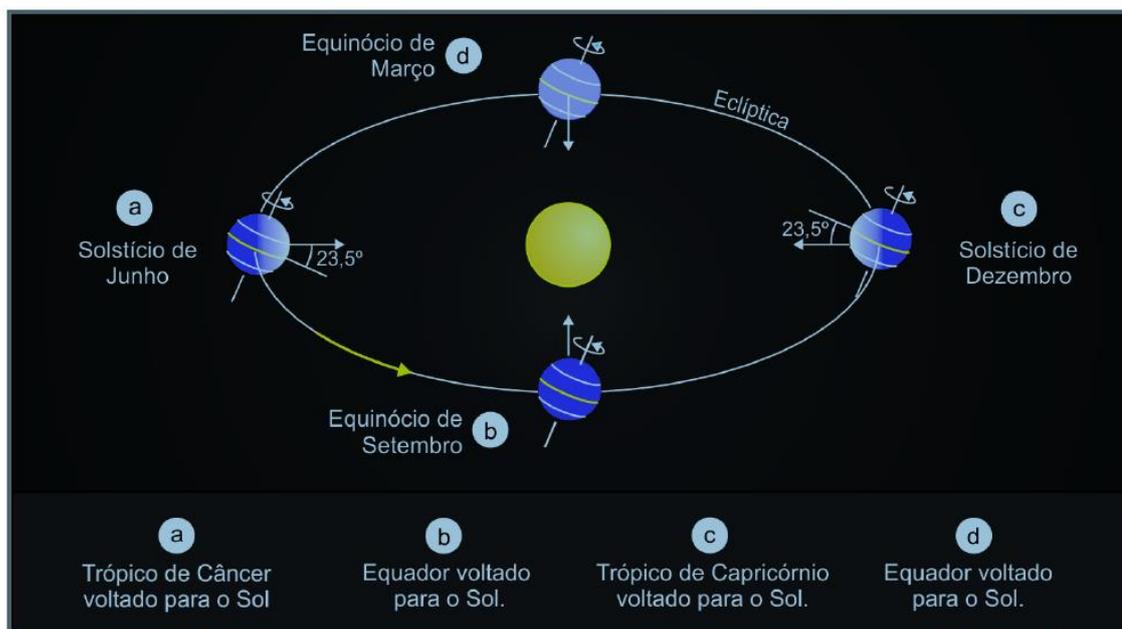


Figura AI.10: Ilustração do movimento orbital da Terra em torno do Sol. Fonte: IF – UFRGS

8

Ao meio dia, a sombra projetada por uma estaca vertical pode indicar a direção Norte-Sul. Essa sombra será mais longa quanto maior for a latitude da região onde se mede. Como a

⁸Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>

linha que o Sol percorre no céu ao longo do dia varia a sua inclinação ao longo do ano, a sombra também varia de comprimento ao longo do ano em uma mesma localidade(Figura AVII.2) No verão ela é mais curta e no inverno mais longa. (FILHO, SARAIVA, 2016a)

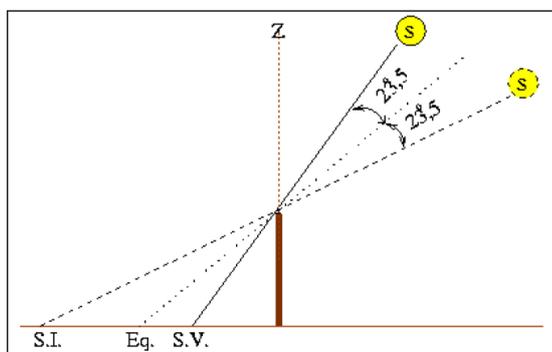


Figura AI.11: Representação da sombra de uma haste projetada pelo Sol ao meio-dia nas datas dos solstícios de verão (S.V.) e de inverno (S.I.). Fonte: IF- UFRGS⁹

Ciclo lunar

O movimento de translação que a Lua faz em torno da Terra faz com que o formato com que a lua aparece no céu ao longo de um mês varie conforme a **figura 1**.

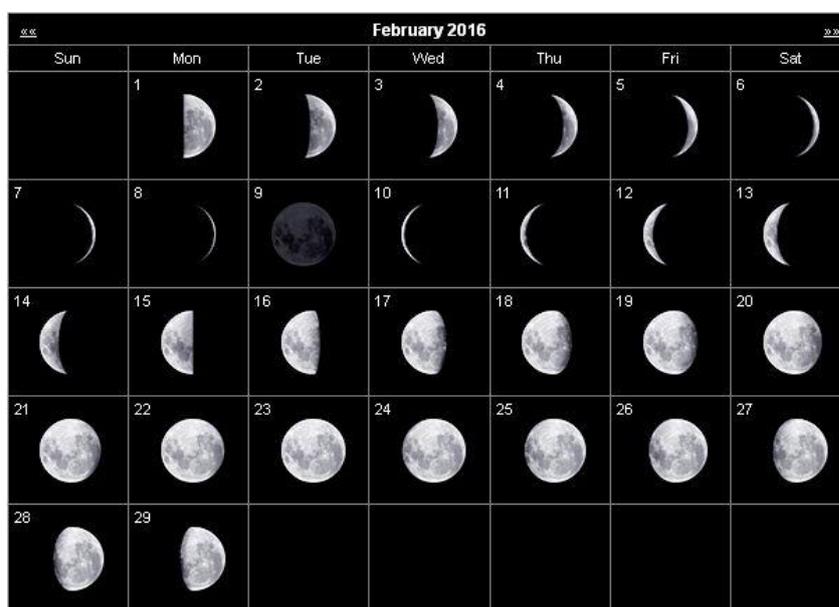


Figura AI.12: Imagem do formato com que a Lua aparece no céu ao longo dos dias do mês de Fevereiro de 2016. Fonte: Jacanaente¹⁰

⁹ Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>

¹⁰ Disponível em: <http://www.jacanaent.com/Weather/MoonPhases/1602.jpg>. Acesso em: 20/12/2016

A razão pela qual ocorre essa mudança no aparente formato da Lua é o fato de a Lua não emitir luz própria. Dessa forma, a luz do Sol é quem faz a Lua brilhar, e o que vemos da Lua é, portanto, a sua parte iluminada pelo Sol. Não apenas, é necessário que alguma parte iluminada esteja voltada para a Terra. A parte iluminada da Lua que está voltada para a Terra determina o formato com que a Lua será vista da Terra. A Figura 2 mostra a Lua em relação à Terra visto do espaço. As posições ilustradas varrem o movimento orbital da Lua. Do ponto de vista da Terra, a Lua vai ser vista parcialmente sombreada nas fases Minguante e Crescente, totalmente ou quase totalmente sombreada durante a fase da Lua Nova, e fica mais iluminada na fase cheia. Essa é a razão pela qual o formato com que a Lua é visto da Terra varia conforme o ciclo mostrado na Figura 2. (HESTER, 2002)

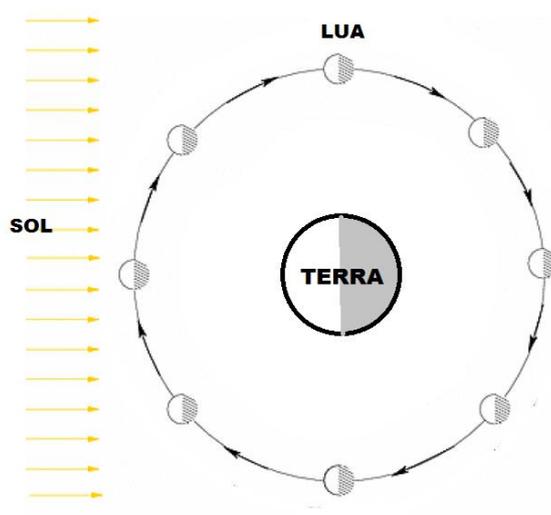


Figura AI.13: Ilustração do sistema Terra-Lua iluminado pelos raios solares. Fonte: Elaborada pela autora

Aula 8: O tempo a longo prazo: calendários astronômicos

O objetivo desta aula é mostrar aos alunos como os movimentos dos astros do sistema solar deram origem às nossas medidas de tempo. A rotação da Terra determina o dia, fatiado em horas e sua translação determina um ano. Já a translação da Lua deu origem à medida de mês, e cada fase deu origem à semana, cujos dias foram nomeados a fim de se homenagear 7 astros conhecidos à época: Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, como mostrado na aula sobre modelo aristotélico. Para dar maior embasamento às afirmações, o professor pode fazer uma construção histórica da nossa contagem do tempo, como eram alguns calendários antigos e como evoluiu o calendário romano até culminar no que é o nosso calendário hoje e que se espalhou pelo ocidente e além, padronizando a forma de medir o tempo em grande parte do globo. Dando ênfase ao fato de muitos desses calendários serem lunissolares, será apresentada a origem da contagem de mês, dia, ano e semana, para que os alunos entendam o propósito a que se destinou o conhecimento em astronomia nas sociedades antigas: a medida precisa do tempo. Para isso, foi preparado um resumo para ser entregue aos alunos, a fim de que possam acompanhar melhor a aula. Espera-se que o aluno compreenda que a medida do tempo para nós é originada pelo movimento dos astros e que suas periodicidades precisas permitiram ao ser humano criar e ajustar relógios e calendários. Este movimento é como um tique-taque universal que nunca atrasa e sua observação gerou a contagem do tempo.

CALENDÁRIOS ASTRONÔMICOS

CICLO ASTRONÔMICO	DURAÇÃO	DEU ORIGEM À MEDIDA DE:
Rotação da Terra	24 horas (1 dia)	Dia
Fase da Lua	148prox.. 7 dias	Semana
Translação da Lua	29 ou 30 dias	Mês
Translação da Terra	148prox.. 365 dias	Ano

CALENDÁRIOS LUNISSOLARES:

- ➔ Os anos eram compostos por doze meses de 29 ou 30 dias, com um décimo terceiro mês intercalar a cada conjunto de anos.
- ➔ Auxiliaram o desenvolvimento de sociedades antigas em questões administrativas, como cobrança de tributos, por exemplo

Exemplos:

EGITO	Posto em prática entre 2937 e 2821 a.C.
MESOPOTÂMIA	Entre 2294 e 2187 a.C. define-se o ciclo do mês intercalar
CHINÊS	Início em 2637 a.C.
JUDAICO	Início em 3761 a.C.
ROMANO	Início 753 a.C.

A EVOLUÇÃO DO NOSSO CALENDÁRIO

Calendário Romano:

- Os anos eram chamados *a.u.c.* de “*ab urbe condita*” (a partir da fundação da cidade de Roma).
- 1 ano = 354 dias, a cada 3 anos, acrescentava-se um mês intercalar.
- Sabia-se que o ano tinha 365,25 dias
- Calendas: 1º dia de cada mês

Júlio César: o Ano da Confusão

- Instituiu o ano bissexto: ciclos de 3 anos de 365 dias e um ano de 366 dias
- Para acertar a data da primavera, 1º de Março foi chamado 1º de Janeiro

O calendário convertido cristão

- Nascimento de Cristo: 25 de Dezembro de 754 *a.u.c.*
- Numeração “depois de Cristo”
- O ano de 1280 *a.u.c.* passou a ser 527 d.C.

O calendário Gregoriano

- 1 ano 365,242199 dias (diferença de um dia a menos a cada 128 anos se comparado à medida de 365,25 dias)
- Em 1582, a páscoa estava antecipada em 10 dias.
- Nova regra para o ano bissexto: Ano múltiplo de 100 não é bissexto, exceto se for múltiplo de 400.

O QUE É A PÁSCOA? E O CARNAVAL?

A páscoa é o 1º Domingo depois da 1ª Lua cheia que aparecer depois do 1º dia da primavera (no Hemisfério Norte, portanto, outono aqui).

O carnaval é 40 dias antes da Páscoa. Note que é preciso saber antecipadamente quando será a primeira Lua cheia da estação para saber quando será o Carnaval.

Para refletir:

Leia abaixo o depoimento de uma pessoa em situação de rua, que revela ter se perdido no tempo a ponto de não mais saber a sua idade:

“Olha, **eu acho que eu tenho entre uns 40 e 50 anos**. Eu não sei qual é a minha idade porque eu só conto por prefeito. Em qual a gente tá? O Kassab já foi? Lembro que quando ele era o prefeito eu tinha uns 35.

Os dias também não sei. Sei que hoje é domingo porque a igreja entrega refeição, sei que é segunda porque é depois de quando a igreja dá comida, mas terça em diante perdi a conta. Só quando é sexta que começa o movimento à noite. Meu nome é Phenelon, tem um pessoal que me chama de ‘Zoió de Gato’ por causa do meu olho verde, mas eu não gosto muito não. [...] Tem gente que tá aqui por causa de família, outros por droga, alguns porque querem. Eu estou vivendo entre o além e a razão. **Tô trancado nessa chave de tempo.**”

Aula 9: Outros relógios e a maçã

O objetivo desta aula é mostrar que as leis físicas são as mesmas para todo o Universo, em contraposição ao modelo aristotélico, segundo o qual a Física dos astros seria diferente da Física na Terra. Para isso, sugere-se apresentar os diferentes tipos de relógios que existem e explicar o princípio básico do funcionamento de cada um. A expectativa, com isso, é de se construir um conceito sólido sobre o que é o tempo e quais são as formas de medi-lo em intervalos curtos. Para consolidar a questão da medida do tempo, é aconselhável evidenciar que esta é baseada em movimentos, pois o tempo puro, em si, não é apreciável. O que se consegue apreciar são movimentos periódicos e a partir daí estabelecermos contagens de tempo. Essa aula irá abordar o funcionamento de diversos tipos de relógio, usando uma perspectiva ainda histórica, com a evolução dos conceitos e do conhecimento. Irá se mostrar os primeiros relógios que surgiram, e explicar o funcionamento deles baseados nos tipos de movimento que até então foram estudados, que eram os movimentos explicados no modelo aristotélico. Aristóteles explicava o movimento como sendo natural ou violento e ele se diferenciava na região da Terra pra região do espaço sideral. Um esquema foi preparado visando à facilitação dessa compreensão. É interessante ressaltar que, segundo esse modelo, a Física na Terra é diferente da Física na região do espaço sideral, para justificar a diferenciação dos tipos de movimento observados em ambas as regiões. E a explicação para os movimentos segundo Aristóteles se baseia no referencial geostático e, após o estudo do referencial heliostático, espera-se que essa explicação não seja convincente para os alunos. A partir daí, então, será possível evoluir para um conceito de gravidade, e mostrar, segundo a gravitação de Newton, conceitualmente, porque todos esses movimentos acontecem. Nesse momento, então, será possível mostrar que a física para a Terra é a mesma física para as estrelas, e para todo o resto do universo. E essas leis então, passam a ser universais. O cerne da questão gira em torno do fato de que o movimento inercial é o movimento em linha reta, por isso, os astros, ao fazerem movimentos circulares, o fazem devido a uma força e essa força é a força de atração gravitacional. Astros mais leves vão orbitar em torno de astros mais pesados. Nesse momento então, utilizando o exemplo da maçã de Newton, que cai no pé da mesma forma que a Lua cai na Terra, pretende-se explicar o que é uma trajetória orbital. Mostrar que o laço gravitacional é quem aprisiona os corpos celestes nesse movimento (quase) circular eterno. Nesse contexto, destaca-se que esse conhecimento possibilitou o avanço das telecomunicações, pois hoje em dia a humanidade é capaz de colocar satélites em órbita.

Com essa aula espera-se então consolidar os conceitos acerca do movimento dos astros do sistema solar, com leis que são aplicáveis a todo o restante do Universo e, além disso, será possível, com essa introdução desse conceito, avançar, posteriormente, para os tempos modernos para entender o movimento dos astros, não só sob a perspectiva de Newton, mas sob a perspectiva de Einstein. Para isso, será necessário entender o espaço como sendo na verdade o espaço-tempo, uma composição dos dois, e curvo, de maneira que esse espaço-tempo determinaria a direção dos movimentos, e em qual direção então os corpos seriam acelerados, que é o caso do movimento orbital.

Neste ponto, então, encerra-se o estudo do tempo clássico. A sequência foi planejada para que pudesse ser, aqui, encerrada ou continuada em sua aplicação. Caso o professor deseje continuar abordando o tema, agora sob a perspectiva da ciência contemporânea, a sequência é seguida de mais quatro aulas, que o permitirão trabalhar o conceito de tempo integrando-o ao espaço, sob a perspectiva da relatividade restrita e, posteriormente, geral. Trata-se de uma abordagem conceitual e o professor poderá, ainda, caso queira continuar com a ciência contemporânea em outro momento posterior, pausar a aplicação da sequência, intercalando-a com estudos de outros assuntos, e no momento do seu interesse, mesmo que em outro ano letivo, retornar à sequência, continuando a abordar a medida do tempo, agora sob a perspectiva da ciência contemporânea, um tempo que já não é absoluto.

É importante, ao final desse ciclo, que o estudante entenda que o tempo é medido através do movimento de algo cíclico, periódico, como movimentos circulares ou oscilações. Dessa forma, o tempo torna-se uma grandeza invisível que serve de parâmetro para comparar os movimentos, ele dá sentido aos conceitos de lento, rápido, acelerado. Pode-se mostrar como os conceitos de tempo e espaço estão enlaçados desde suas concepções clássicas. Pois tudo acontece em algum instante em algum lugar do espaço, e é daí que surge o conceito de evento.

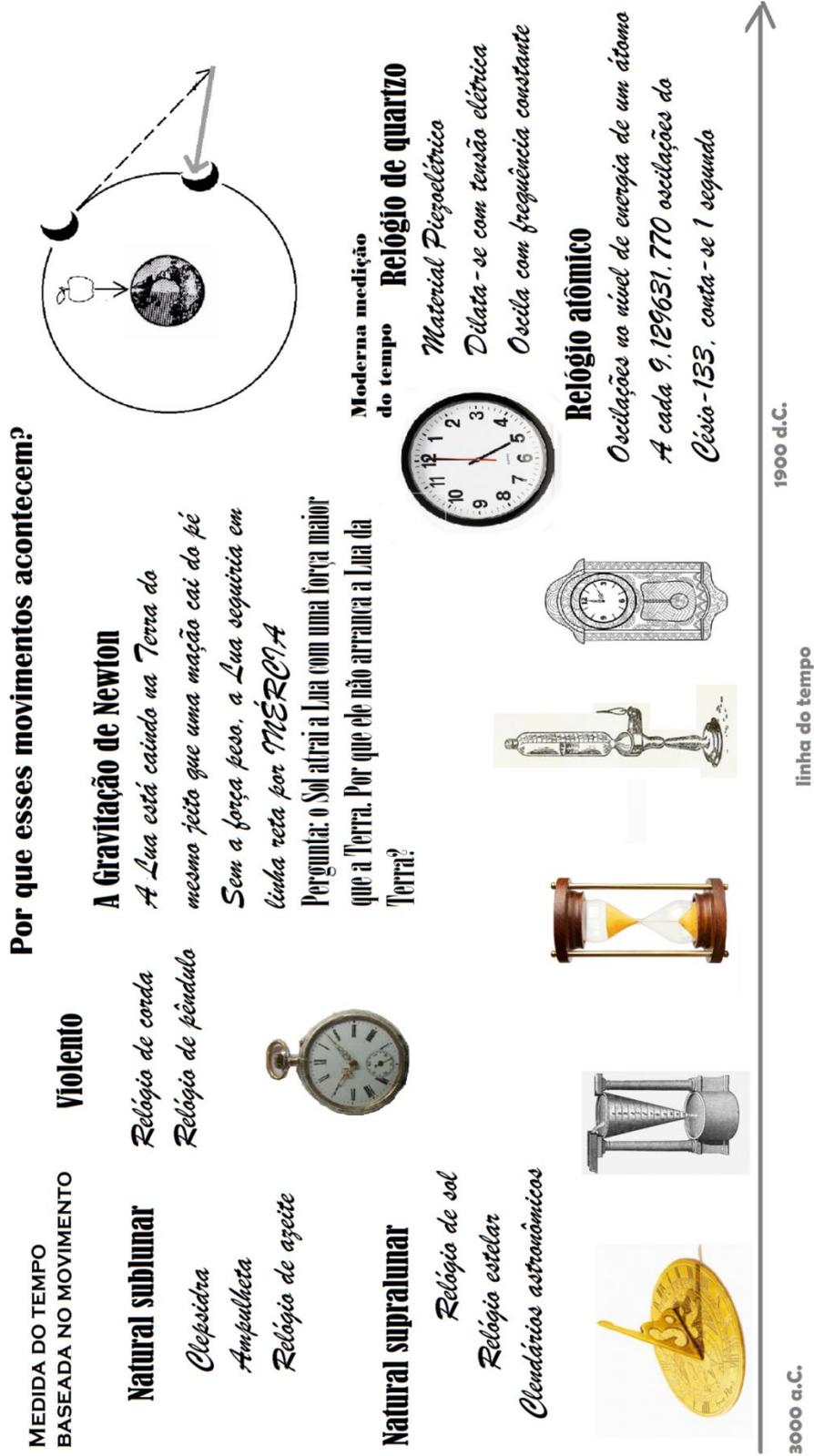


Figura AI.14: Tipos de relógio. Fonte: elaborado pela autora.

Aula 10: o tempo de transmissão de uma informação

Esta aula trabalhará a velocidade da luz, e o fato de a luz ser a coisa mais rápida que existe. Assim, será discutido um exemplo sobre dois eventos que acontecem muito distantes no Universo e são testemunhados também por dois pontos muito distantes entre si. Sugere-se que o docente inicie a aula entregando aos alunos o texto “A velocidade da luz: o antes, o agora e o depois”, sobre duas galáxias, A e B, com planetas habitados e duas estrelas, A’ e B’, que morrem simultaneamente no Universo. Essas estrelas estão a distâncias diferentes das galáxias, estando a estrela A’ mais próxima da galáxia A e a estrela B’, mais próxima da galáxia B’. Assim, pode-se questionar os alunos, antes de eles lerem o texto, acerca do tempo de transmissão da informação: se as explosões serão vistas dos planetas no instante em que acontecem, ou se essa informação viaja com uma velocidade finita pelo Universo. Em seguida, pode-se questionar se as explosões serão vistas simultaneamente a partir do mesmo planeta, ou se estas serão vistas em instantes distintos.

A explicação será dada a partir da emissão da luz. Como nenhuma causa pode preceder um efeito, fica estabelecido que a luz é a coisa mais rápida que existe e a transmissão de qualquer informação está limitada à sua velocidade. Ao morrer, uma estrela emitirá uma luz intensa, e esta percorrerá o caminho até as galáxias com uma velocidade finita. Assim, cada planeta irá testemunhar primeiramente a morte da estrela que está mais perto de si. Assim, o planeta A verá a estrela A’ morrer primeiro. Porém, para os habitantes do planeta B, a estrela B’ morrerá antes. Assim, os conceitos de antes, agora e depois tornam-se relativos à região do espaço onde está o observador. Nesse momento, pode-se buscar uma reflexão sobre o que vemos quando olhamos para o céu. Dadas as enormes distâncias entre os astros, o que se testemunha no céu são ecos do passado, pois a informação leva um certo tempo viajando pelo espaço. Da estrela mais próxima de nós, o Sol, um feixe de luz leva em torno de oito minutos para chegar até a Terra. Mais que isso, os corpos celestes mais distantes de nós trazem informações de épocas remotas do Universo, auxiliando os cientistas a tentar recontar sua história e, ainda, compreender os processos de evolução estelar. Com o exemplo da percepção cronológica entre explosões de estrelas a partir de duas galáxias distintas do Universo espera-se que os alunos sejam capazes de relativizar os conceitos de antes, agora e depois. Após o texto, há uma atividade que poderá ser feita em casa pelos alunos. Uma vez que esta parte da sequência não foi aplicada no contexto desta pesquisa, suas atividades contam com sugestões de respostas, disponíveis no Apêndice II, para dar uma diretriz ao docente na avaliação da execução das tarefas por parte dos discentes.

A VELOCIDADE DA LUZ: O ANTES, O AGORA E O DEPOIS

Albert Einstein, autor da famosa teoria da relatividade, postulou que a velocidade da luz é finita, e que nada pode ser mais rápido que a luz. Dessa forma, para atender ao princípio da causalidade (não há efeito sem causa, a causa é anterior ao efeito) surge a ideia de que a velocidade das interações estaria limitada à velocidade da luz. (UGAROV, 1979)

A velocidade da luz, então, determina o tempo mínimo necessário para que uma informação seja transmitida no espaço. A luz emitida pelo Sol, por exemplo, leva aproximadamente oito minutos para chegar à Terra. Vale lembrar que o Sol é a Estrela mais próxima de nós.

Um ano-luz (1 A.L.) é a distância que a luz viaja em um ano, com velocidade $c = 300\,000\,000\,000$ km/s e equivale a $9,461 \times 10^{12}$ km. Isso quer dizer que um fóton (raio de luz) emitido por uma estrela a $9,461 \times 10^{12}$ km de nós levará 1 ano para chegar à Terra. Considere o seguinte exemplo. Na Figura 6, a galáxia A possui um planeta habitado, chamado Antáris. Há dois milhões de anos atrás, duas estrelas “morreram” ao mesmo tempo: A estrela A e a estrela B, que estão à distância de 5 milhões de Anos-Luz e 2 bilhões de Anos-Luz de Antáris, respectivamente. Isso significa que a explosão da estrela B será vista pelo povo de Antáris hoje à noite, mas eles só saberão que a estrela A morreu daqui a 3 bilhões de anos.

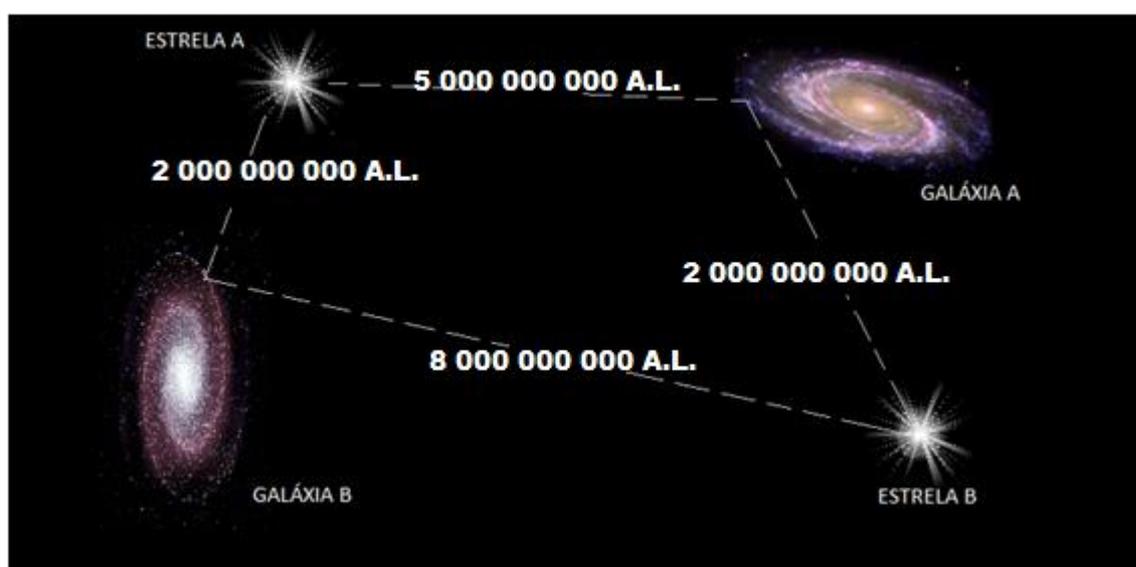


Figura AI.15: Ilustração da morte de duas estrelas. Fonte: Elaborada pela autora

A galáxia B também possui um planeta habitado, Bárion, de onde os habitantes também poderão testemunhar o colapso das estrelas A e B, que distam 2 bilhões de Anos-Luz e 8 bilhões de Anos-Luz de Bárion, respectivamente. Dessa forma, o povo de Bárion irá testemunhar a explosão da estrela A hoje à noite e a da estrela B só daqui a 6 milhões de anos. A estrela B brilhará no céu por mais incontáveis gerações para o povo de Bárion, enquanto que para o povo de Antáris a estrela B morrerá hoje, mas a estrela A continuará a brilhar no céu. Isso significa que a ordem cronológica dos eventos pode ser diferente para observadores em diferentes lugares do espaço.

O que vemos quando olhamos para o céu são ecos do passado. Eventos que ocorreram em épocas passadas e cuja informação só agora chega até nós. É possível, no entanto, quando presenciamos um evento astronômico, saber quando este aconteceu. Isto depende do tempo que a luz irá demorar para chegar até nós, o que depende da distância a que estamos da ocorrência do evento. Conhecendo essa distância, é possível deduzir em que época do passado o evento aconteceu.

A velocidade finita da luz representa uma grande vantagem para a construção do conhecimento humano em astronomia. Como existem galáxias a diversas distâncias de nós num raio de milhões de Anos-luz de distância, os astrônomos sempre podem observar eventos que ocorreram há milhões de anos localizados em alguma parte do céu. Com isso, é possível estudar, por exemplo, o processo de evolução estelar, pois no céu é possível captar informações de estrelas nos mais diversos estágios evolutivos. Esse vínculo entre espaço e tempo, portanto, é crucial na construção do conhecimento acerca da origem do Universo.

QUESTÃO: Observe este poema de Carlos Drummond de Andrade, que sugere que o amor desconstrói a ideia de uma passagem rítmica e unívoca do tempo:

*O tempo passa? Não passa
O tempo passa? Não passa
no abismo do coração.
Lá dentro, perdura a graça
do amor, florindo em canção.*

*O tempo nos aproxima
cada vez mais, nos reduz
a um só verso e uma rima
de mãos e olhos, na luz.*

Não há tempo consumido

*nem tempo a economizar.
O tempo é todo vestido
de amor e tempo de amar.*

***O meu tempo e o teu, amada,
transcendem qualquer medida.
Além do amor, não há nada,
amar é o sumo da vida.***

***São mitos de calendário
tanto o ontem como o agora,
e o teu aniversário
é um nascer a toda hora.***

*E nosso amor, que brotou
do tempo, não tem idade,
pois só quem ama escutou
o apelo da eternidade.*

Com a teoria da relatividade, algumas concepções exóticas de tempo deixaram o mundo da fantasia para integrar o mundo da ciência. Explique em que contexto é verdadeiro, no sentido literal, e não só poético, dizer que “são mitos de calendário tanto o ontem como o agora”.

Aula 11 O experimento de Michelson-Morley e a dilatação do tempo

Nesta aula será abordado o fenômeno da dilatação do tempo, uma consequência de um embaraçoso resultado experimental, conhecido por Michelson-Morley, que mostrou que a velocidade da luz é invariante. Para isso será introduzido o conceito de éter luminífero, que seria o meio de propagação da luz. Para introduzir a nova problemática, sugere-se abordar o que acontece com a velocidade da luz quando esta é detectada por um observador em movimento em relação à fonte de luz. Quando o famoso experimento de Michelson-Morley foi feito, os cientistas acreditavam que a luz era uma onda e por isso tinha que ter um meio de propagação, a que chamaram éter. O movimento da Terra arrastaria o éter em torno dela e isso deveria desviar a trajetória da luz como uma correnteza, dependendo da direção de propagação. Pode-se comparar a um exemplo em que um barco é arrastado por uma correnteza. O que se quer mostrar é que a luz não sofre esse tipo de variação na velocidade devido ao deslocamento do seu meio de propagação. Esse experimento irá explicar, então, como se descobriu que isso não acontecia: a velocidade da luz era invariante para qualquer referencial, ou seja, que ela não sofre as transformações de Galileu.

A partir daí iremos introduzir novos conceitos, mostrar que Einstein interpretou a situação como a velocidade da luz sendo uma propriedade fundamental da natureza e que, portanto, deveriam ser revistos os conceitos de espaço e de tempo para adequá-los a essa nova informação. O primeiro exemplo que se pode abordar das consequências desse experimento é mostrar a dilatação do tempo para referenciais em movimento rápido. Para isso, vamos abordar um experimento imaginário, que se passa em um trem de altíssima velocidade (comparável à da luz): um pulso de luz é emitido por uma lâmpada no chão do trem, reflete-se num espelho no teto do trem, e então retorna à lâmpada. O caminho percorrido pela luz será observado de maneira distinta entre a menina dentro do trem e a que está do lado de fora. Para a menina dentro do trem, a luz percorreu um caminho vertical para cima e para baixo. Para a menina de fora do trem, no entanto, ela percorreu um caminho diagonal, tanto na subida quanto na descida. Esse caminho diagonal é geometricamente mais longo que o vertical. Se a velocidade da luz é invariante, deve-se presumir que ela leve mais tempo para percorrer um caminho mais longo. Assim, o tempo de ida e volta da luz à lâmpada medido pela menina fora do trem será maior que o tempo medido pela menina dentro do trem, a isso dá-se o nome de dilatação do tempo. É possível relacionar o tempo medido pelas meninas matematicamente. Caberá ao professor identificar se, dentro do seu contexto educacional, convém demonstrar esse cálculo. Ele depende de conceitos simples, que são o movimento retilíneo uniforme e o

Teorema de Pitágoras além de algumas manipulações algébricas com as equações. Se o professor assim desejar, pode dedicar mais aulas a esse cálculo e à resolução de exercícios tradicionais. Destaque-se, no entanto, que esse cálculo não é necessário à aplicação da sequência, pois há exemplos que podem comprovar experimentalmente esse a dilatação do tempo. Para dar um desfecho a essa situação então planeja-se apresentar o exemplo dos múons, partículas que conseguem atravessar a atmosfera terrestre apenas devido à dilatação do tempo, o que pode ser um bom caminho para explicar que existem evidências experimentais de que a medida do tempo irá sofrer variações entre referenciais em movimento. Os muons são partículas muito rápidas, provenientes do sol, que, ao atingirem a nossa atmosfera, sofrem um decaimento, deixando de ser múons. E o tempo que eles levariam, com a velocidade que têm, para atravessar nossa atmosfera seria tempo o suficiente para que nenhum múon conseguisse chegar à Terra, todos teriam sofrido decaimento antes disso. No entanto, detectam-se múons a nível do mar, o que é uma prova de que, para esses múons, deu tempo de chegar, ou seja, nós medimos o tempo dos múons dilatado. O tempo deles, de fato, é menor do que o tempo que nós medimos.

Nessa etapa, verificar-se-á que o efeito do movimento relativo entre referenciais é muito profundo. A percepção de realidade dos observadores em diferentes referenciais fica deslocada: o que é “tempo presente” para um observador, compreende eventos que acontecem em diferentes instantes de tempo para outro observador.

RELATIVIDADE RESTRITA – DILATAÇÃO DO TEMPO

Imagine um Trem de altíssima velocidade com uma lâmpada no chão, de modo que ela ilumina o teto do trem, conforme as figuras a seguir. O teto do trem tem um espelho e o raio de luz retorna até a lâmpada. Chama-se Thaís a observadora na calçada e Morgana a observadora no interior do trem.

No referencial da Thaís, esses eventos estão localizados nos pontos A, B e C , enquanto no referencial da Morgana, os eventos estão localizados nos pontos A', B' e A' , respectivamente. Para a Morgana, o raio de luz que sai da lâmpada faz o caminho vertical $A'B'$ até o teto, igual à altura do trem. Como durante a subida do raio de luz o trem se deslocou, para a Thaís, o raio de luz que sai da lâmpada faz um caminho diagonal AB , maior que o caminho vertical $A'B'$.

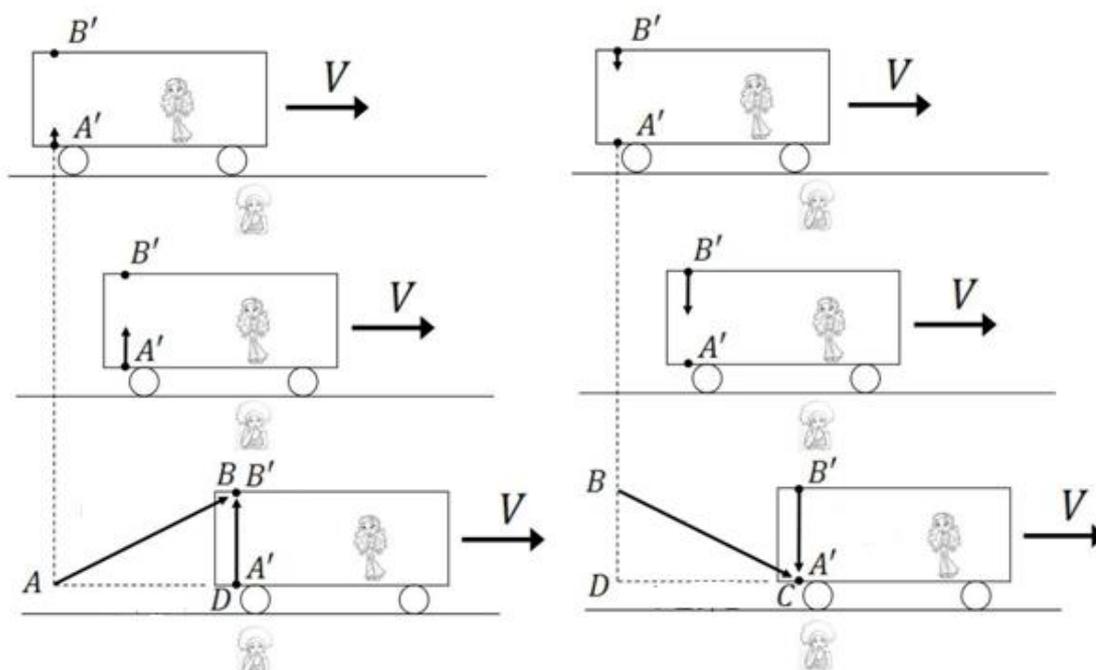


Figura AX.1: Trem de Einstein. Fonte: elaborada pela autora.

Dessa forma, a luz percorreu um caminho maior no referencial da Tháís do que no referencial da Morgana. Como a velocidade da luz é invariante para qualquer referencial, isso significa que a luz levou mais tempo percorrendo esse caminho, segundo o referencial da Tháís. Para a Morgana, que estava no referencial com velocidade, esse tempo foi mais curto que para Tháís.

Responda às questões a seguir:

QUESTÃO 1: Salvador Dalí, pintor catalão, foi o mais conhecido dos artistas surrealistas, e chegou a comentar, certa vez: “Toda a minha ambição no campo pictórico é materializar as imagens da irracionalidade concreta com a mais imperialista fúria da precisão”. O quadro *A Persistência da Memória*, de Salvador Dalí, data de 1931 e está localizado na coleção do Museu de Arte Moderna de Nova Iorque desde 1934.



Figura AI.16: Quadro *A Persistência da Memória*, quadro de Salvador Dalí. Fonte Architecture¹¹

Explique por que essa imagem poderia ser uma representação simbólica do novo paradigma advindo da Teoria da Relatividade.

QUESTÃO 2: Para o referencial dentro da cabeça do personagem, o tempo pareceu passar diferente da forma como passou para o referencial externo (e para qualquer observador que ali estivesse). No primeiro caso, o tempo pareceu passar mais rápido. No segundo caso, mais devagar. Mas ele apenas parece. Explique por que essa situação não é um exemplo de que o tempo é relativo, segundo os preceitos científicos.

¹¹ Disponível em: <https://architecture.uic.es/2014/01/27/in-memoriam-savador-dali/>



Figura AI.17: Anedota sobre a percepção do tempo. Fonte: Blog do Mr Jorge¹²

¹²Disponível em: http://blogdomrjorge.blogspot.com.br/2011_11_01_archive.html

Aula 12: o conceito relativo de simultaneidade e a contração do espaço

Nesta aula planeja-se abordar a questão da contração do espaço de maneira a compensar a dilatação do tempo e introduzir a razão pela qual foi necessário criar o conceito de espaço-tempo, para que as leis físicas permanecessem invariantes. Para dar esse exemplo de maneira simples, há uma atividade que contém mais um exemplo de experimento no trem de Einstein, com pulsos de luz sendo emitidos nas extremidades do trem. Para isso, nessa aula, então, será abordado o conceito de medida de comprimento. Para isso, apresentar-se-á a situação-problema do trem de Einstein, hipotético e muito veloz (sua velocidade é comparável à da luz), utilizando o material de apoio ilustrado disponível. Nas figuras, dois pulsos de luz são emitidos das extremidades de um vagão de trem, com uma personagem dentro do vagão e outra do lado de fora, ambas observando o encontro desses raios de luz. Para a personagem que está do lado de fora (em movimento com relação ao trem), os pulsos de luz percorreram a mesma distância, mas para a personagem que está no trem (e, portanto, em repouso em relação a ele), os raios de luz percorreram distâncias diferentes, sendo que eles tinham a mesma velocidade (lembre-se que a velocidade não sofre as transformações de Galileu). Poderiam, então, ter sido emitidos juntos e então percorrer distâncias diferentes, com a mesma velocidade, levando, ambos, o mesmo tempo? O nível de complexidade da situação problema é alto, pois a resposta irá requerer uma quebra de paradigmas sobre tempo e espaço.

A resposta para o questionamento da situação-problema será devastadora: a personagem que está no trem vai ter que ver um pulso partir antes do outro. Só assim eles irão percorrer distâncias diferentes na mesma velocidade até chegar ao ponto de encontro. Mais especificamente, o raio de luz da frente do trem saiu antes do raio de luz que veio da traseira do trem. Assim, deve-se estabelecer um novo critério de simultaneidade: dois eventos são simultâneos se dois raios de luz que partem desses eventos se encontrarem no “meio do caminho” (ponto médio da reta que marca a distância entre os dois). E esse experimento irá mostrar, portanto, que a simultaneidade também é relativa ao estado de movimento do referencial.

O próximo passo é verificar a consequência da relatividade da simultaneidade (e da dilatação do tempo) na medida de comprimentos. Primeiramente, define-se como medir um comprimento: para medir algo, deve-se marcar simultaneamente as posições das extremidades do objeto e medir a distância entre esses pontos. Devido à ausência de simultaneidade na medida feita pela menina do lado de fora, ela irá medir seu comprimento alterado. O fato é que a menina de fora do trem irá medir um comprimento para o trem menor que o

comprimento medido pela menina de dentro do trem. Esse fato é conhecido como contração do espaço. Isso não quer dizer que o trem se espremeu por estar muito rápido, mas sim que houve um problema na medição feita pela menina de fora. Esse problema advém da relatividade da simultaneidade, cuja consequência será o fato de que a medida de comprimento do trem será diferente para os referenciais interno e externo. Sendo que, quem faz a medida alterada, é o referencial que está do lado de fora, observando o trem se movimentar.

Nesse momento propõe-se fazer uma analogia clássica que se baseia na hipótese de se fotografar um trem longo em movimento, fotografando em diferentes instantes suas diferentes partes e fazendo uma montagem dessas imagens. Como o trem não cabe inteiro na foto, tiram-se duas imagens para depois juntá-las. Como o trem está em movimento, as imagens juntadas irão alterar seu comprimento aparente. Assim, espera-se mostrar o que é a contração do espaço através desta analogia, que consiste em se apreciar qual é a consequência de se medir um objeto em movimento sem olhar para suas extremidades simultaneamente.

Na física clássica, medimos o comprimento de alguma coisa encostando uma régua simultaneamente nas suas extremidades. Isso não é tão simples na relatividade, então utiliza-se pulsos de luz para se medir coisas. E com isso espera-se mostrar através de uma analogia, que a medida do espaço será contraída, fenômeno conhecido por contração do espaço. Deve-se ressaltar que a invariância na velocidade da luz irá causar distorções nas medidas feitas por referenciais em diferentes estados de movimento. De uma certa forma, essas variações irão se contrabalançar tratando-se o tempo como a quarta coordenada do espaço.

Sendo assim, então, o tempo se dilata, porém o espaço se contrai, e essas duas coisas se compensam quando se integra o tempo ao espaço, considerando-o, então, a quarta coordenada do espaço, ou a quarta dimensão, constituindo o que é conhecido hoje por espaço-tempo. Sobre isso há algumas atividades ao final do material de apoio a esta aula, para serem respondidas pelos alunos, em aula, ou em casa, a critério do professor. Essas atividades contam com sugestões de respostas disponíveis no Apêndice II.

A CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

Voltando ao trem de Einstein, agora temos dois raios que caem simultaneamente nas extremidades A' e B' do trem, fazendo com que as lâmpadas nesses pontos emitam dois pulsos de luz simultâneos.

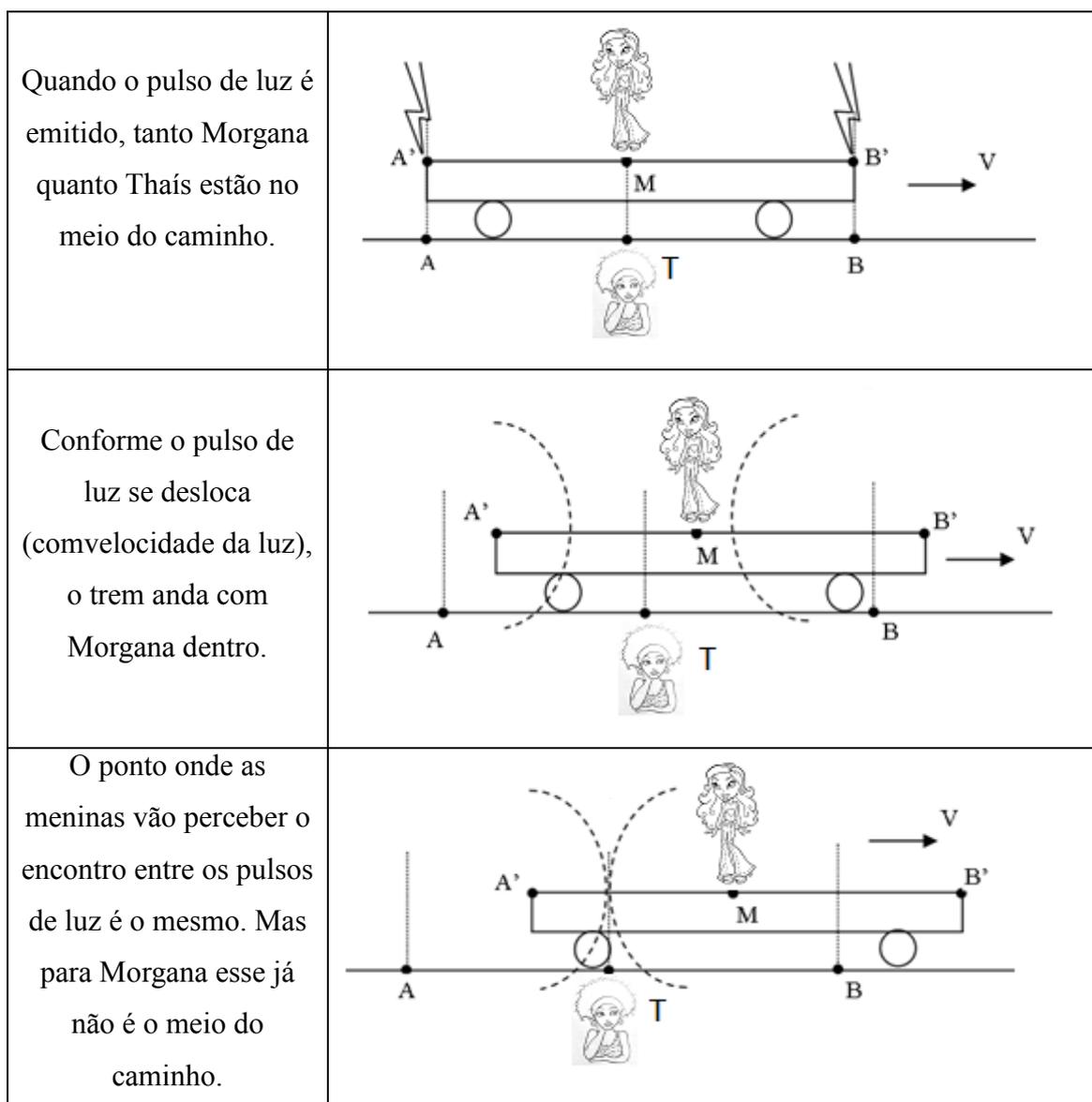


Figura A1.18: Experimento no trem de Einstein. Fonte: Elaborado pela autora.

Analogia clássica

Fazendo uma interpretação clássica ao exemplo anterior, é como se Thaís tivesse detectado a frente do trem antes de sua traseira, mas pensando estar detectando ambas simultaneamente. E isso é uma consequência do estado de movimento do trem com relação a Thaís, na calçada. O raio a caiu simultaneamente ao raio b para Thaís, mas para Morgana (que é quem mede o comprimento próprio do trem), o raio a saiu antes. Vamos tentar fazer uma analogia clássica do que acontece.

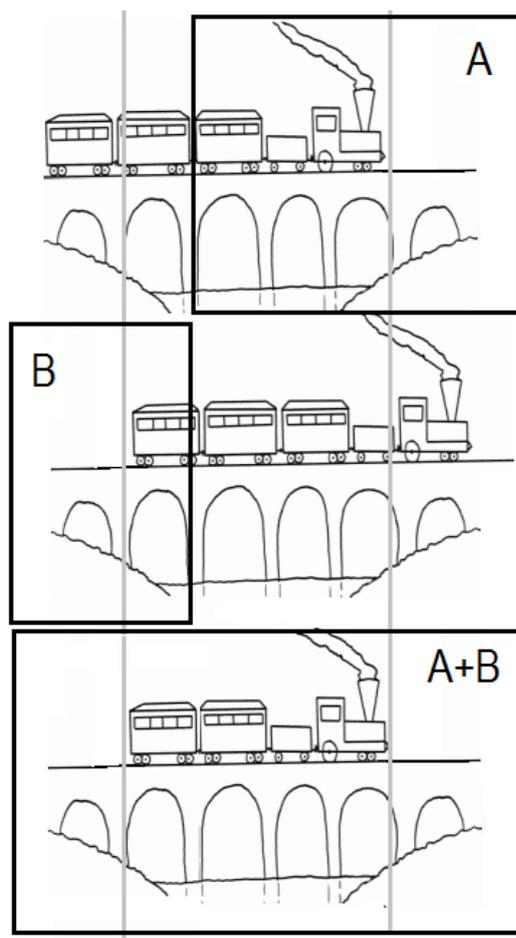


Figura AI.19: Fotografias retiradas das partes de um trem em movimento e unidas em seguida. Fonte: elaborada pela autora

Imagine que uma pessoa queira fotografar um trem mais longo do que cabe na fotografia. Essa pessoa então decide fotografar a frente e a traseira do trem, para então juntar as partes. Se o trem estiver parado, é possível fotografar as partes em instantes diferentes e depois juntá-las. Mas, se o trem estiver em movimento, as fotografias devem ser tiradas simultaneamente. Caso alguém resolva tirar primeiro uma foto da frente do trem (figura A) e só depois fotografar a sua traseira (figura B), ele irá se deslocar nesse intervalo. Ao juntar as imagens (figura A+B), o trem parecerá mais curto! Uma pessoa que pense que essas fotografias foram tiradas simultaneamente irá pensar que o trem é mais curto do que seu tamanho real.

QUESTÃO 1: Qual é o fator responsável pela diferença das medições de espaço no Tempo Absoluto e no Tempo Relativístico? Explique.

QUESTÃO 2: Quais são as consequências da invariância da velocidade da luz?

QUESTÃO 3: Como você poderia interpretar a mensagem transmitida por essa figura no contexto da contração do espaço?



Figura AI.20: Objeto visto por perspectivas diferentes. Fonte: Blog BeforeSpeak¹³

¹³ Disponível em: <https://beforespeak.wordpress.com/page/2/>

Aula 13: Relatividade geral: curvatura do espaço-tempo

Com a relatividade do tempo e do espaço, os paradigmas mais sólidos da física se perderam. Para garantir que as leis físicas sejam válidas para qualquer referencial, o tempo integra-se ao espaço como sua quarta coordenada e daí emerge uma nova grandeza: o espaço-tempo. A próxima aula irá então, abordar como é o espaço-tempo curvo, a fim de evoluir do conceito de gravidade de Newton para o conceito de curvatura do espaço-tempo de Einstein.

A problemática, agora, será em torno da menor distância entre dois pontos. O professor pode distribuir para os alunos o material de apoio disponível, a fim de trabalhar o exemplo de uma formiga que caminha sobre uma esfera. Para ela, a menor distância entre dois pontos é uma linha curva, e seu caminho constitui o que chamamos de trajetória geodésica. As figuras geométricas que os passos da formiga marcam sobre a esfera não seguem as regras da geometria plana, e esta não serve, portanto, para calcular parâmetros sobre uma superfície curva. Se tentarmos medir a área da figura marcada pelos passos da formiga utilizando a geometria plana, o resultado estaria errado, a não ser que fossem feitas correções. Isso acontece porque a geometria plana não serve para fazer medidas sobre superfícies curvas. O espaço-tempo é curvo e, por analogia, pode-se mostrar que a geometria utilizada nesse contexto deve ter correções em relação à geometria euclidiana. Da mesma forma que a formiga deve percorrer um caminho curvo sobre a esfera, os astros são levados pela curvatura do espaço-tempo a percorrerem caminhos curvos também. Dessa forma, o conceito de força da gravidade pode ser substituído por curvatura do espaço-tempo, que determina uma direção preferencial de aceleração para os corpos. Ao percorrer um caminho orbital, um astro está seguindo sua trajetória geodésica, na qual a menor distância entre os pontos de sua trajetória não pode ser medido por uma linha reta, pois seu movimento se curva acompanhando o espaço-tempo. Ou seja, é como se seguisse uma linha reta em um espaço-tempo curvo. Deve-se salientar que essa curvatura do espaço é causada pela presença de massa (ou outras formas de energia) que define uma direção preferencial de aceleração.

A partir daí, pode-se levantar a questão de como sentimos a curvatura do espaço-tempo, ou a gravidade, o que servirá de base para entender o princípio da equivalência. Alguns exemplos podem ajudar nessa tarefa, como um foguete na ausência de campo gravitacional, que tem aceleração igual à da gravidade e faz o tripulante sentir-se como se estivesse no campo gravitacional da Terra. Também pode-se abordar o exemplo de astronautas que flutuam dentro de satélites espaciais em órbita percorrendo uma linha geodésica do espaço. Estando acelerados pela curvatura do espaço-tempo, esses não percebem a gravidade.

Com o conceito de curvatura do espaço, até mesmo a luz passa a ser desviada ao passar próximo a grandes massas, e o professor pode ilustrar essa situação dando o exemplo do famoso eclipse em Sobral (Ceará), quando foi comprovada a existência da curvatura do espaço. Após isso, serão aplicadas duas atividades interpretativas sobre a curvatura do espaço-tempo, finalizando a aplicação da sequência. Espera-se que a sequência tenha a potencialidade de desenvolver um modelo explicativo de Universo nas suas estruturas mentais dos estudantes.

RELATIVIDADE GERAL

Princípio da equivalência

O princípio da equivalência diz que aceleração e gravidade se equivalem. Por exemplo. Se você estiver numa nave no meio do espaço onde a gravidade é imperceptível, você vai ter a impressão de não ter peso, vai flutuar. Mas, se a nave se movimentar com aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$, que é a aceleração da gravidade na Terra, você será lançado contra o chão como se estivesse em presença do campo gravitacional da Terra. Não há diferença entre os efeitos produzidos por estar em um referencial acelerado ou estar em presença de um campo gravitacional. Então não existe mais gravidade, existe uma curvatura no espaço tempo que determina a direção em que os corpos estarão acelerados. (FALCIANO, 2009)

A situação inversa também é verdadeira, estando em um referencial em queda-livre (aceleração da gravidade), deixa-se de perceber a gravidade. O movimento orbital é um exemplo dessa equivalência. Os astronautas em uma estação espacial que orbita a Terra estão em constante queda livre. Eles não sentem a gravidade porque seguem a linha geodésica do espaço-tempo. A aceleração que lhes é imposta pela gravidade atua como centrípeta, e como já estão acelerados conforme a curvatura do espaço-tempo, eles não tem mais o que sentir. Diferente de nós, na Terra, onde pensamos sentir a “força da gravidade” porque não temos a aceleração (queda-livre) que acompanhe a curvatura do espaço ao redor da Terra. O que sentimos, na verdade, não é a força da gravidade, o que sentimos é a força de interação com a superfície que nos sustenta e nos impede de entrar em queda livre (normalmente a força exercida pelo chão como apoio). (LESCHE, 2005)

Algumas pesquisas na área de biologia estudam o efeito que ocorre em células crescidas sem gravidade. Para simular o efeito de ausência de gravidade, a célula fica dentro de uma câmara que faz movimentos de rotação semelhantes àquelas máquinas de lavar antigas

em que se via a roupa girando lá dentro. Esse efeito está relacionado com o princípio de equivalência, pois como a célula é acelerada em todas as direções, completando círculos, é como se ela vivesse em um planeta onde a gravidade aponta para todas as direções, variado no tempo ciclicamente, de forma que esses efeitos aparentemente gravitacionais em todas as direções se anulem.

Espaço curvo

O que acontece se forem aplicadas as regras da geometria plana a uma superfície curva? Considere-se uma formiga que se move sobre uma folha de papel. Se essa formiga mudar a direção de seu movimento, de forma a percorrer o caminho fechado de um triângulo, certamente a soma dos ângulos internos do triângulo será de 180 graus.

Imagine-se agora que esta mesma formiga se move sobre uma pequena esfera. Ao percorrer um quarto da circunferência da esfera, ela desvia sua trajetória em 90 graus para a sua direita. Mais uma vez percorrida essa distância, a formiga desvia novamente seu caminho em 90 graus para a direita. Percorrendo, então, mais um quarto de circunferência, a formiga retornará ao seu ponto e partida, e a trajetória final fará um ângulo de 90 graus com a linha do caminho inicial. Ou seja, essa formiga percorreu a trajetória de um triângulo, cuja soma dos ângulos internos vale 270 graus, bem mais que os 180 determinados pela geometria euclidiana.

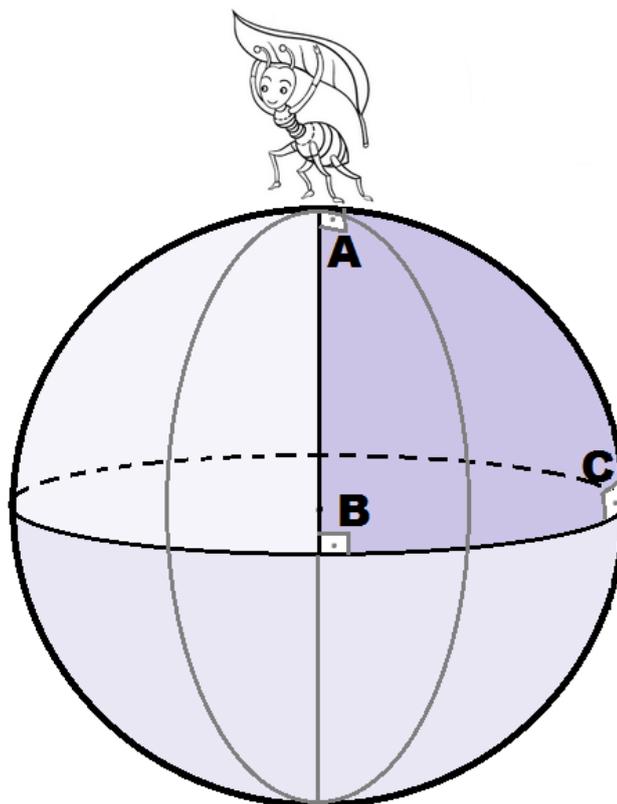


Figura AI.21: Formiga andando sobre uma esfera. Fonte: Elaborada pela autora.

Isso significa que a geometria plana euclidiana não serve para fazer medidas sobre uma superfície curva. Da mesma forma, pode-se definir espaço curvo tridimensional como aquele no qual a geometria euclidiana perde a validade. As leis da geometria nesse espaço são diferentes das que conhecemos usualmente. (LESCHE, 2005)

A curvatura do espaço é causada pelos campos gravitacionais. A presença de um corpo massivo deforma o espaço ao seu redor, tornando-o curvo. A curvatura do espaço pode ser medida pelo grau com que as características desse espaço se desviam da geometria euclidiana. A curvatura do espaço será maior quanto maior for a massa do objeto. Essa curvatura varia de lugar para lugar conforme a distribuição de corpos maciços.

As distorções causadas pela curvatura afetam não só as relações espaciais como também as temporais. O tempo flui em taxas diferentes em lugares com diferentes curvaturas. Onde o campo gravitacional é intenso (maior curvatura) o tempo flui mais lentamente. Isso quer dizer que um relógio em um planeta muito massivo corre mais lento que em um planeta pouco massivo. O fato de estarmos em presença do campo gravitacional da Terra faz com que nossos relógios corram mais lentamente do que em regiões ermas do espaço. Mas essa

diferença é pouco perceptível e nada significativa. Ademais, nós não percebemos a curvatura do espaço-tempo, pois, estando em um espaço-tempo deformado, nós partilhamos de sua deformação (nós estamos deformados também).

Em sua mais famosa equação, $E=mc^2$, Einstein mostrou que massa e energia se equivalem. Dessa forma, o que “entorta” o espaço é a presença de energia, seja em forma de massa ou de movimento (ou campos elétricos, etc.). O que Minkowsky fez foi associar essa energia à curvatura de uma superfície. Sabemos que é necessária uma dimensão a mais para se fazer uma representação gráfica. No caso do espaço 3D, o tempo serve de parâmetro pra se “desenhar” o espaço. Mas o espaço passou a ser quadridimensional com o tempo sendo a quarta coordenada e para descrever isso a partir de uma visão “de fora” seria necessária uma quinta coordenada. Mas não se sabe se existe uma quinta dimensão para “desenhar” esse espaço curvo. Então, fez-se necessário descrever a curvatura usando-se a própria superfície, num procedimento que utiliza uma geometria intrínseca. Esse método utiliza as próprias marcações na superfície para tentar descrever o que acontece sobre ela. Isso tudo deve ser corrigido por se utilizar uma coordenada curva, por um cálculo chamado “derivada da covariante”. Por exemplo: ao se calcular a área de um triângulo sobre uma esfera utilizando a geometria plana para isso, deve-se fazer uma correção. É isso que a derivada covariante faz. (FALCIANO, 2009)

Trajatória da luz e das partículas livres como geodésicas

A métrica (descrição matemática) do espaço tem relação com a massa dos corpos. Determinam as propriedades do movimento acelerado de um corpo num ponto do espaço – curvas geodésicas. O conceito de geodésica é a menor distância entre dois pontos. Na geometria euclidiana, essa distância é representada por uma linha reta. No entanto, a geometria do espaço-tempo é descrita por um outro viés matemático, chamado de geometria diferencial. Usando essa geometria, a menor distância entre dois pontos vai acompanhar a curvatura do espaço tempo. Vale lembrar da formiga sobre a esfera. Para se deslocar de um ponto a outro da esfera ela precisa fazer uma curva.

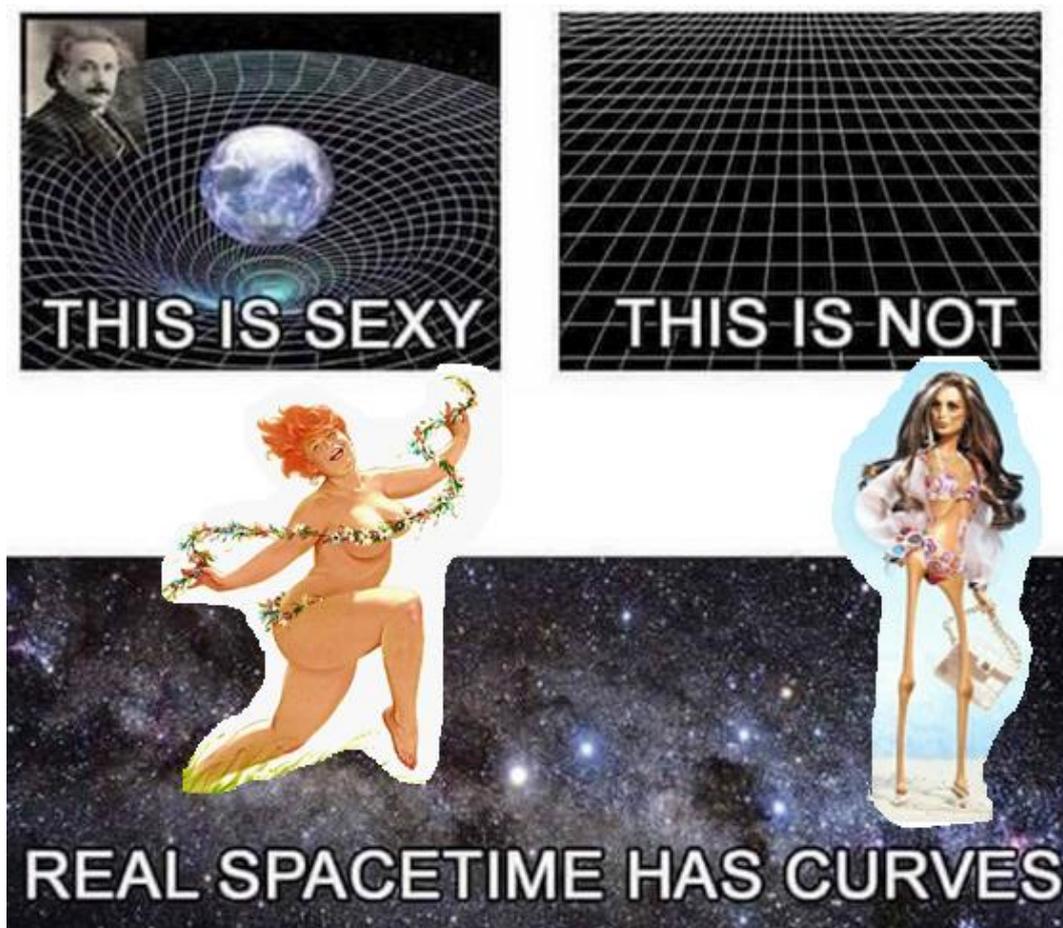
A evidência experimental da curvatura do espaço deu-se no Brasil, durante um eclipse em 29 de Maio de 1919. Nessa data, a constelação acima do Sol era a de Touro. Quando a Lua se interpôs entre a Terra e o Sol, o dia escureceu na região de Sobral, onde o eclipse foi total. As estrelas puderam então ser vistas no céu e lá estava uma equipe de cientistas para registrar o acontecimento. A população da cidade colaborou bastante com o experimento, que

requisitou um certo “sossego”, e que foi bem atendido pelos habitantes locais. Dessa forma, o experimento foi um sucesso: estando o dia sem luz, foi possível detectar as estrelas da constelação de Touro que, bem se sabia, estavam localizadas “atrás” do Sol. Mas como isso era possível? A luz que vinha dessas estrelas sofreu um desvio causado pela atração gravitacional do Sol. Na verdade, a luz seguiu a linha geodésica que acompanha a curvatura do espaço-tempo. No entanto, algo nisso tudo não parece inédito. Isaac Newton acreditava que a luz tinha massa, e que sofreria esse tipo de desvio gravitacional. Porém, o desvio calculado pela teoria newtoniana teria um valor diferente do desvio calculado pela Teoria da Relatividade geral, de Einstein. E o experimento mostrou que Einstein estava certo. (ZYLBERSZTAJN, 1989)

EXERCÍCIOS

QUESTÃO 1: Aristóteles descrevia o **movimento natural** dos corpos separados por dois contextos: o mundo supralunar e o mundo sublunar. No mundo sublunar (abaixo da Lua, que era conhecido como o objeto celeste mais próximo da Terra) o movimento natural dos corpos era o vertical, como a queda livre ou, no caso dos corpos mais “leves”, o movimento vertical para cima, como a fumaça ou uma bolha dentro da água. No mundo supralunar, onde estão os demais astros, o movimento é caracterizado como circular, imutável e eterno. Relacione essa teoria com o comportamento dos corpos sobre o tecido espaço-tempo, segundo a teoria da relatividade.

QUESTÃO 2: A charge abaixo aborda a questão da ditadura da beleza, que impõe que meninas sejam cada vez mais magras para atingir um padrão estético que não corresponde à realidade, usando como anedota o fato de até mesmo o espaço-tempo ser curvo. Patrícia (à direita) afirma que as curvas de Hilda (à esquerda) são feias. Hilda retruca, dizendo que a moda das coisas retas não existe mais, pois o espaço é cheio de curvas e nesse contexto nem mesmo a menor distância entre dois pontos é uma linha reta. Explique o que Hilda quis dizer.



Tradução: “Isto é sexy”

“Isto não é”

“O verdadeiro espaço-tempo tem curvas”

Figura AI.22: : Curvatura no espaço-tempo, espaço sem curvatura, personagens. Fonte:
Elaborada pela autora.

QUESTÃO 3: A figura mostra dois buracos negros no centro de uma galáxia. Um buraco negro é uma região do espaço com uma grande massa concentrada da qual nada pode escapar, nem mesmo a luz. Por que se observa uma densidade menor de estrelas nas regiões próximas ao buraco negro, se sua intensa gravidade deveria atrair mais estrelas para perto de si?

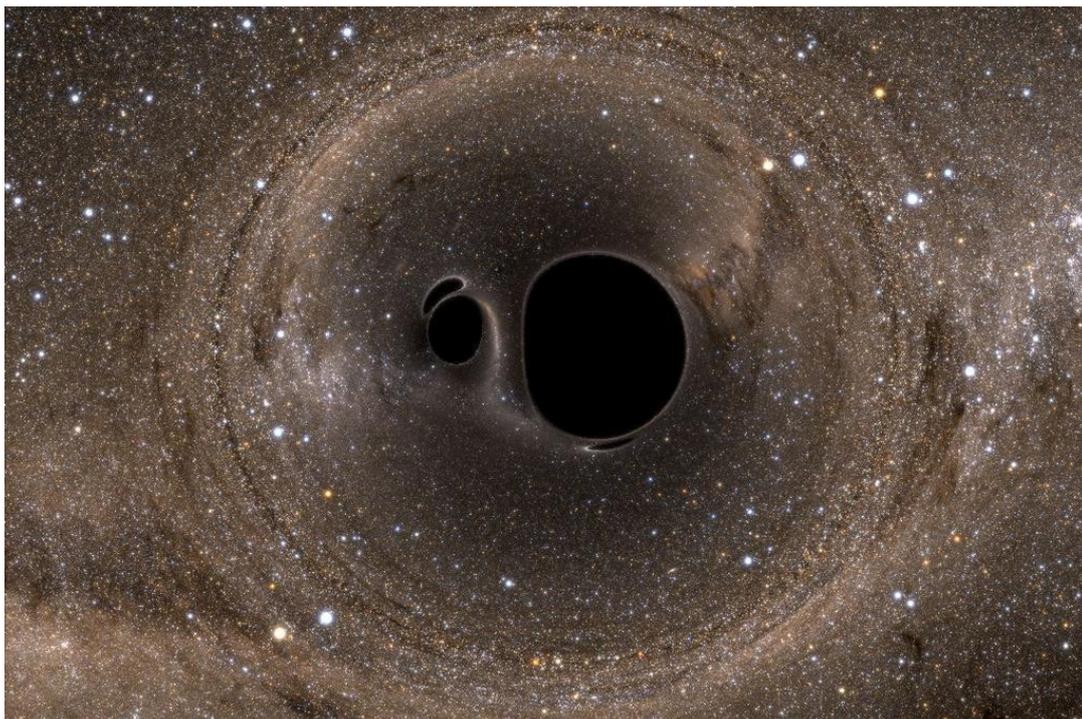


Figura AI.23: Buracos negros no centro de uma galáxia. Fonte: Página da Nasa¹⁴

¹⁴ Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-scientist-suggests-possible-link-between-primordial-black-holes-and-dark-matter/>

Referências Bibliográficas

- CAMPOS, J. A. S. *Introdução às ciências físicas I*. v. 3. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.
- COELHO, P. M. C. SOUZA, E. O. R. *Atividades práticas da X Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*. Disponível em: <http://www.oba.org.br/downloads/atividade_pratica_xoba.pdf>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016.
- FAUTH, A. C. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, pp. 585-591, 2007.
- FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Movimento anual do Sol e as estações do ano*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016a.
- FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Medidas de tempo*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/tempo.htm>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2016b.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.
- NARDI, R.; LANGHI, R. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, pp. 41-59, 2014.
- NUNES, F. G. *Ensino de Geografia: novos olhares e práticas*. Várzea Grande: Editora De Liz, 2011.
- PELIZZARI, A. KRIEGL, M. L., BARON, M. P. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel, *Revista PEC*, Curitiba, v.2, n.1, pp. 37-42, jul. 2001-jul. 2002
- RONAN, C. A. *História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume 1: das origens à Grécia* (Tradução Jorge Enéas Fortes). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.
- SOBEL D. *Longitude: a verdadeira história do gênio solitário que resolveu o maior problema do século XVIII* (Tradução Bazan Tecnologia e Linguística). São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
- ZYLBERSZTAJN, A. A deflexão da luz pela gravidade e o eclipse de 1919. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, 6 (3): p. 224-233, dez. 1989.

Apêndice II

Constelações do zodíaco para impressão¹⁵

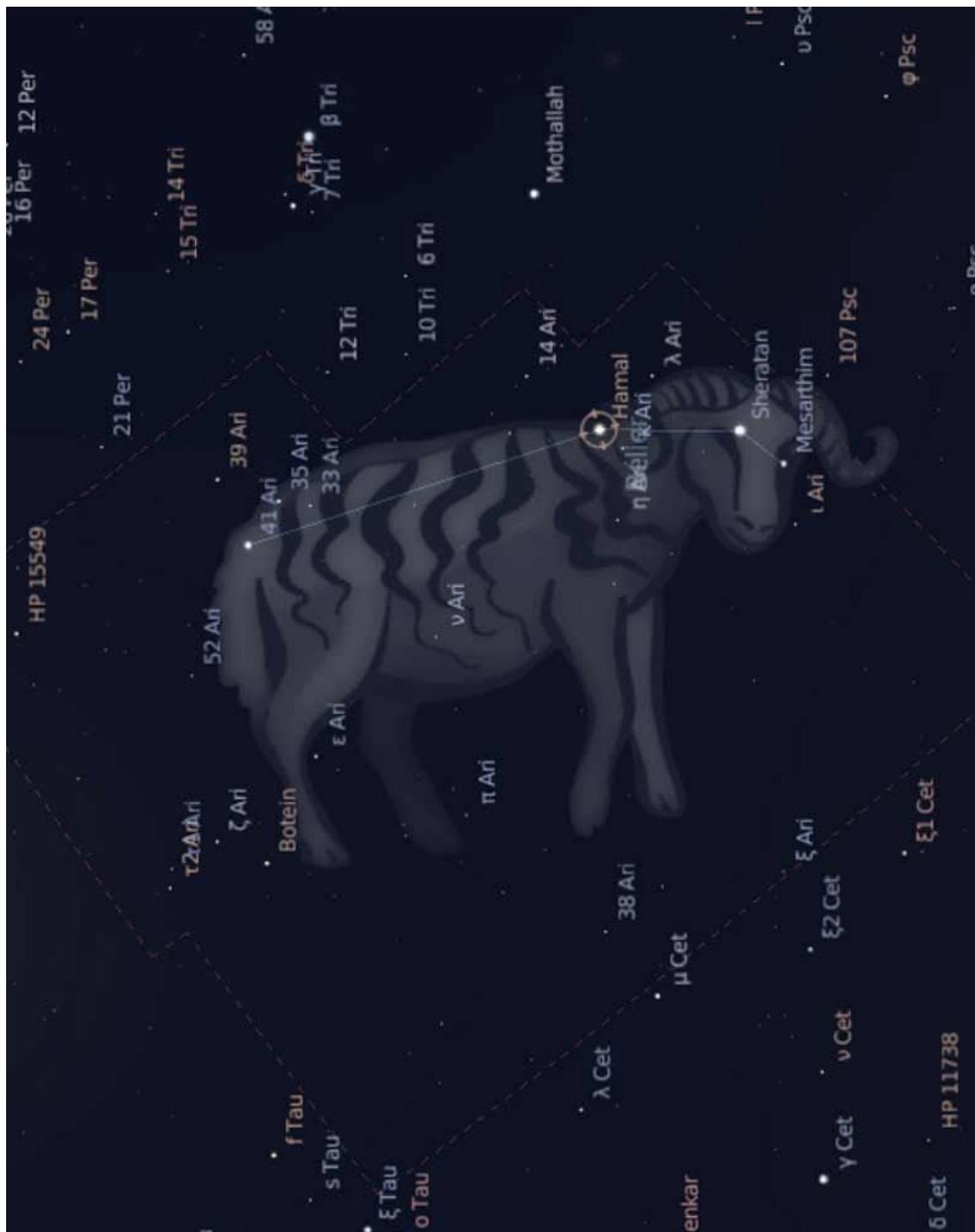


Figura II.1: Constelação de Áries. Fonte: Astronoo

¹⁵ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>



Figura II.2: Constelação de Touro. Fonte: Astronoo¹⁶

¹⁶ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

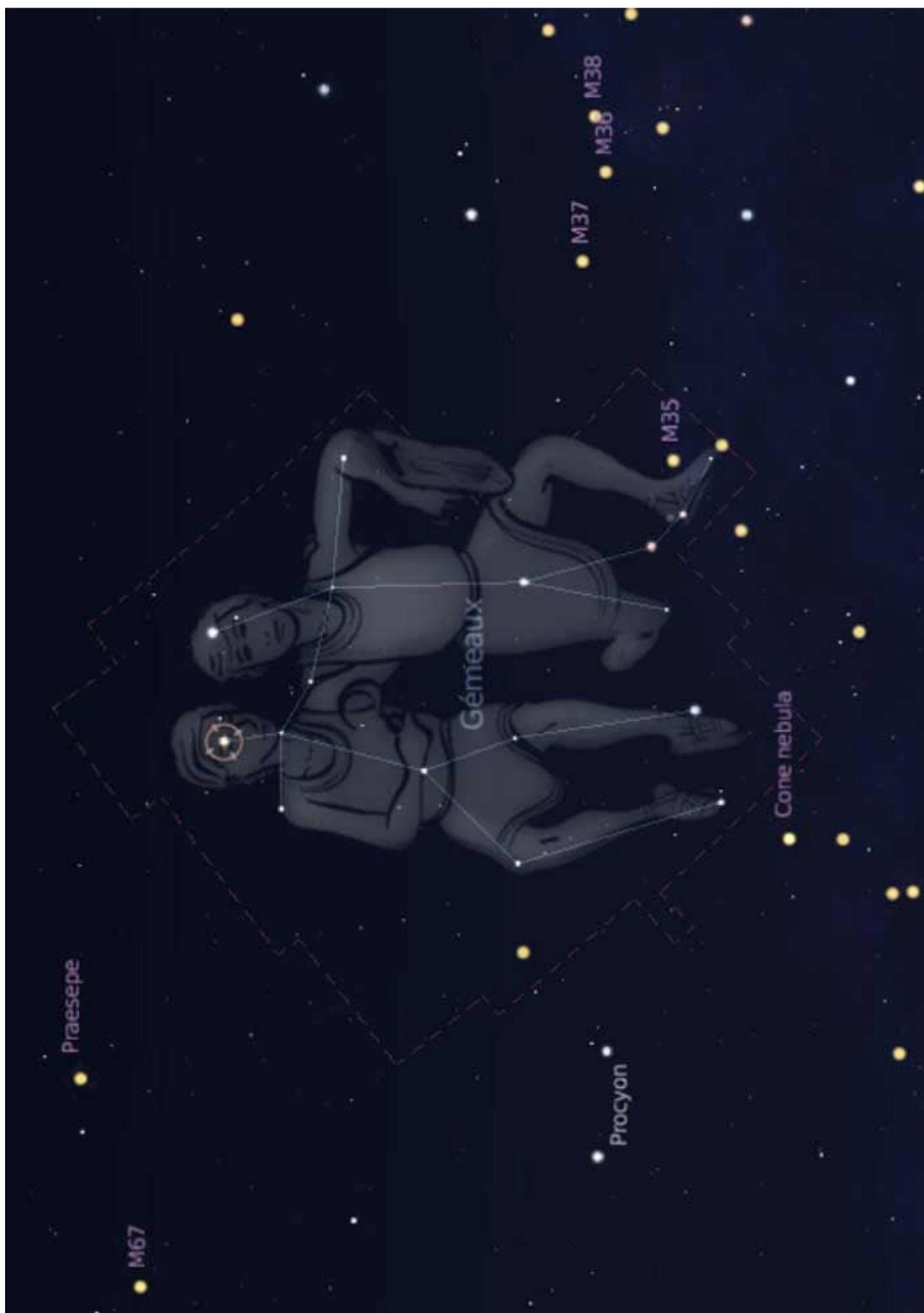


Figura II.3: Constelação de Gêmeos. Fonte: Astronoo¹⁷

¹⁷ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>



Figura II.4: Constelação de Câncer. Fonte: Astronoo¹⁸

¹⁸ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>



Figura II.5: Constelação de Leão. Fonte: Astronoo¹⁹

¹⁹ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

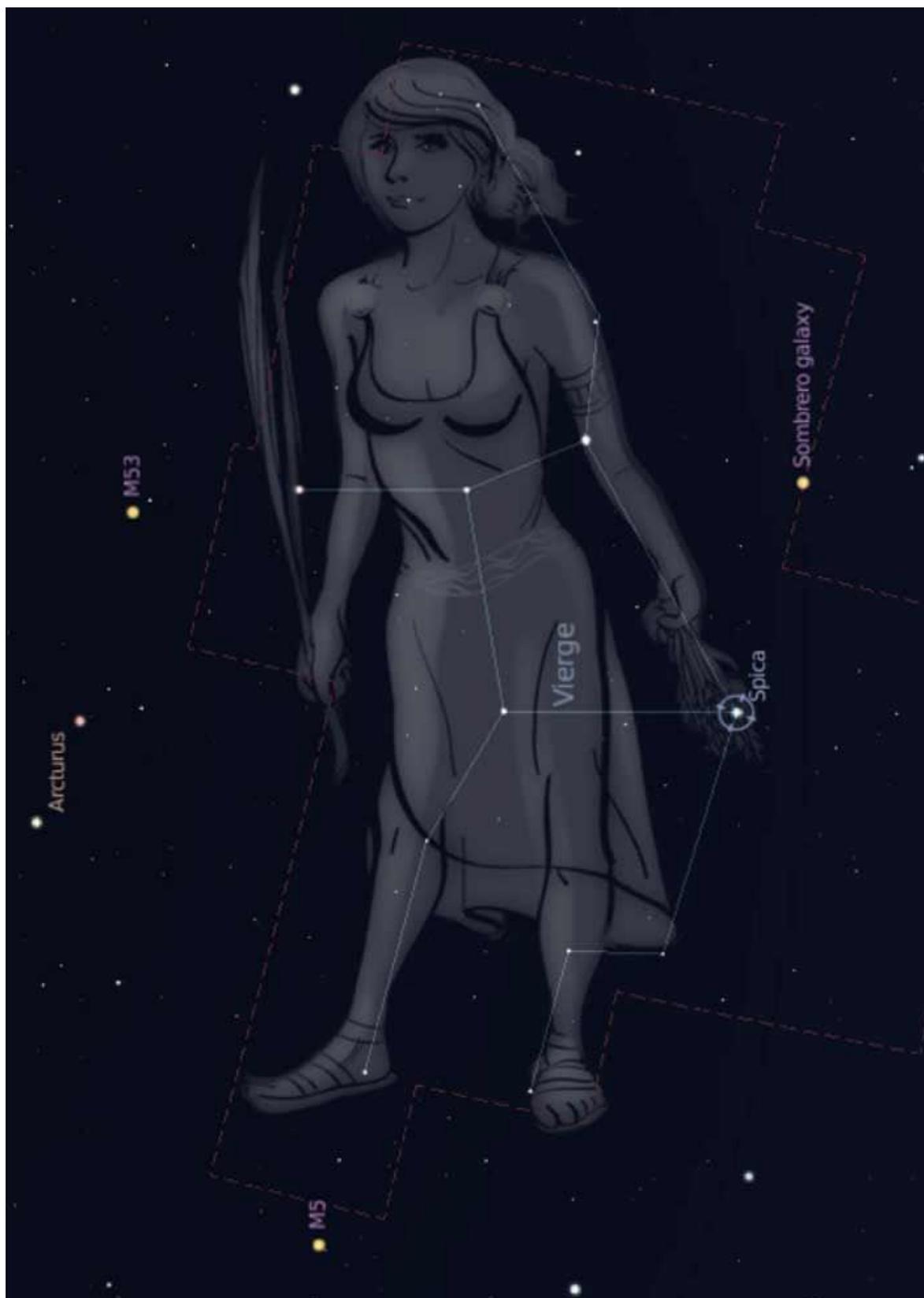


Figura II.6: Constelação de Virgem. Fonte: Astronoo²⁰

²⁰ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

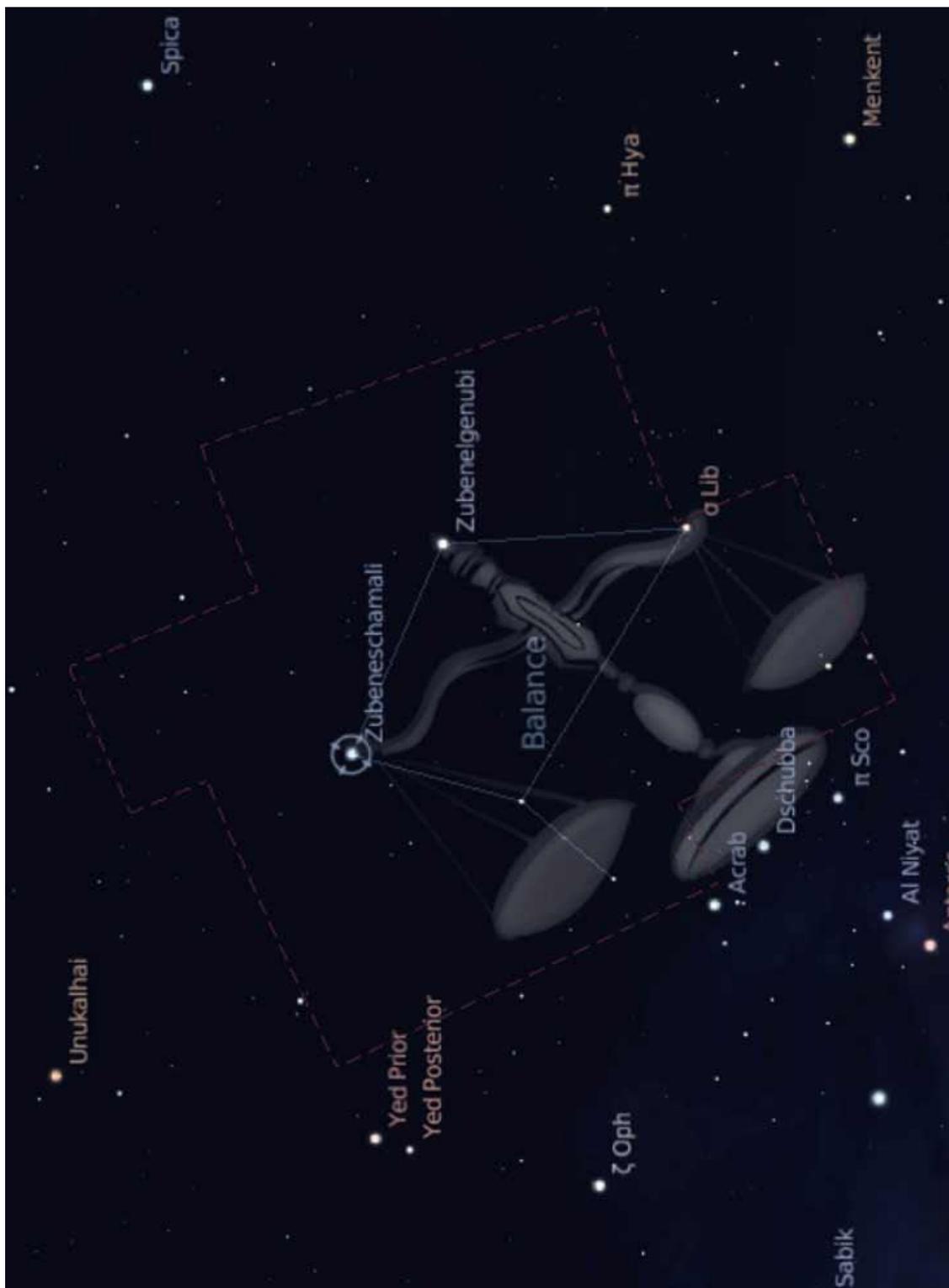


Figura II.7: Constelação de Libra. Fonte: Astronoo²¹

²¹ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

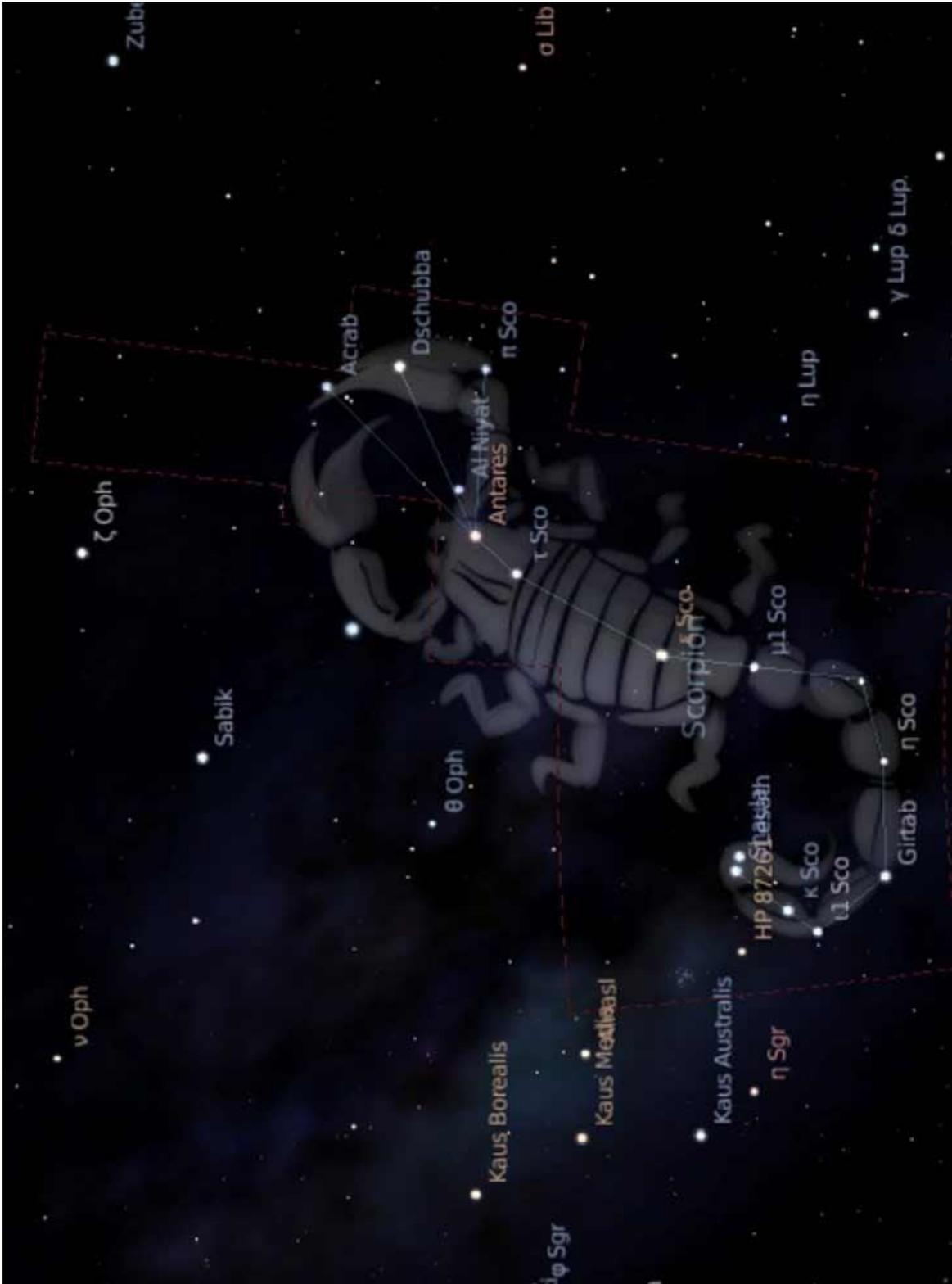


Figura II.8: Constelação de Escorpião. Fonte: Astronoo²²

²² Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

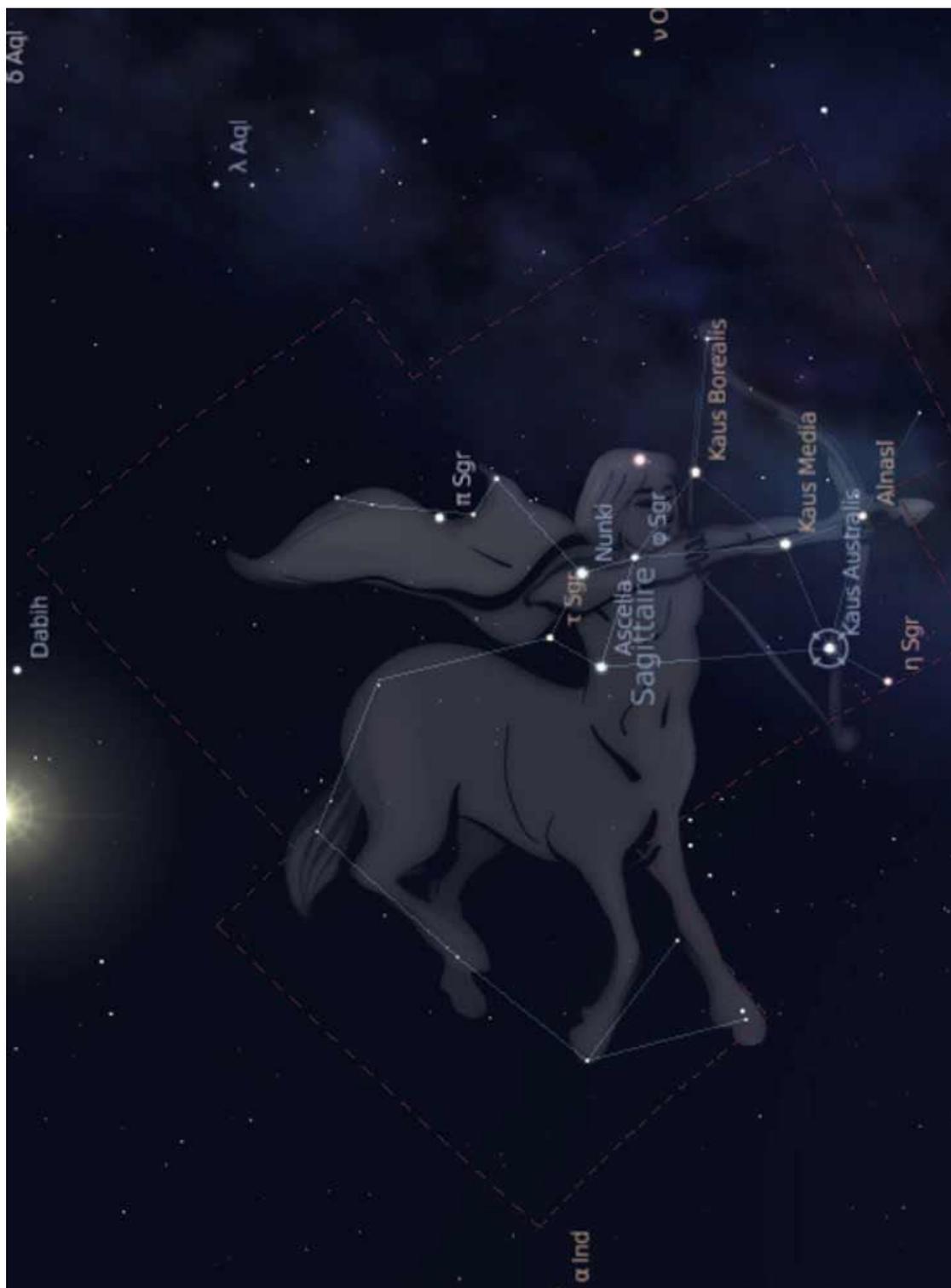


Figura II.9: Constelação de Sagitário. Fonte: Astronoo²³

²³ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

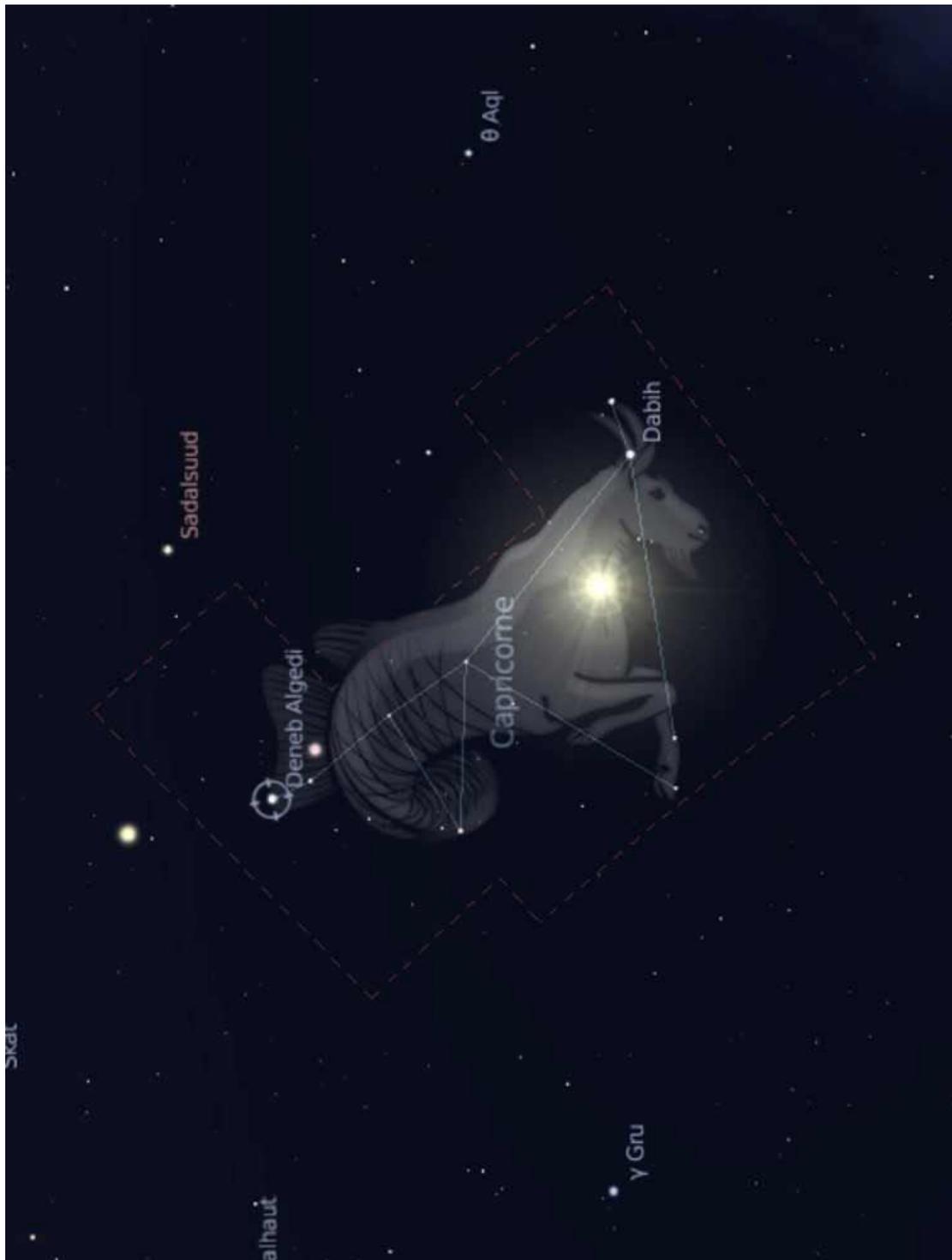


Figura II.10: Constelação de Capricórnio Fonte: Astronoo²⁴

²⁴ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>



Figura II.11: Constelação de Aquário. Fonte: Astronoo²⁵

²⁵ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

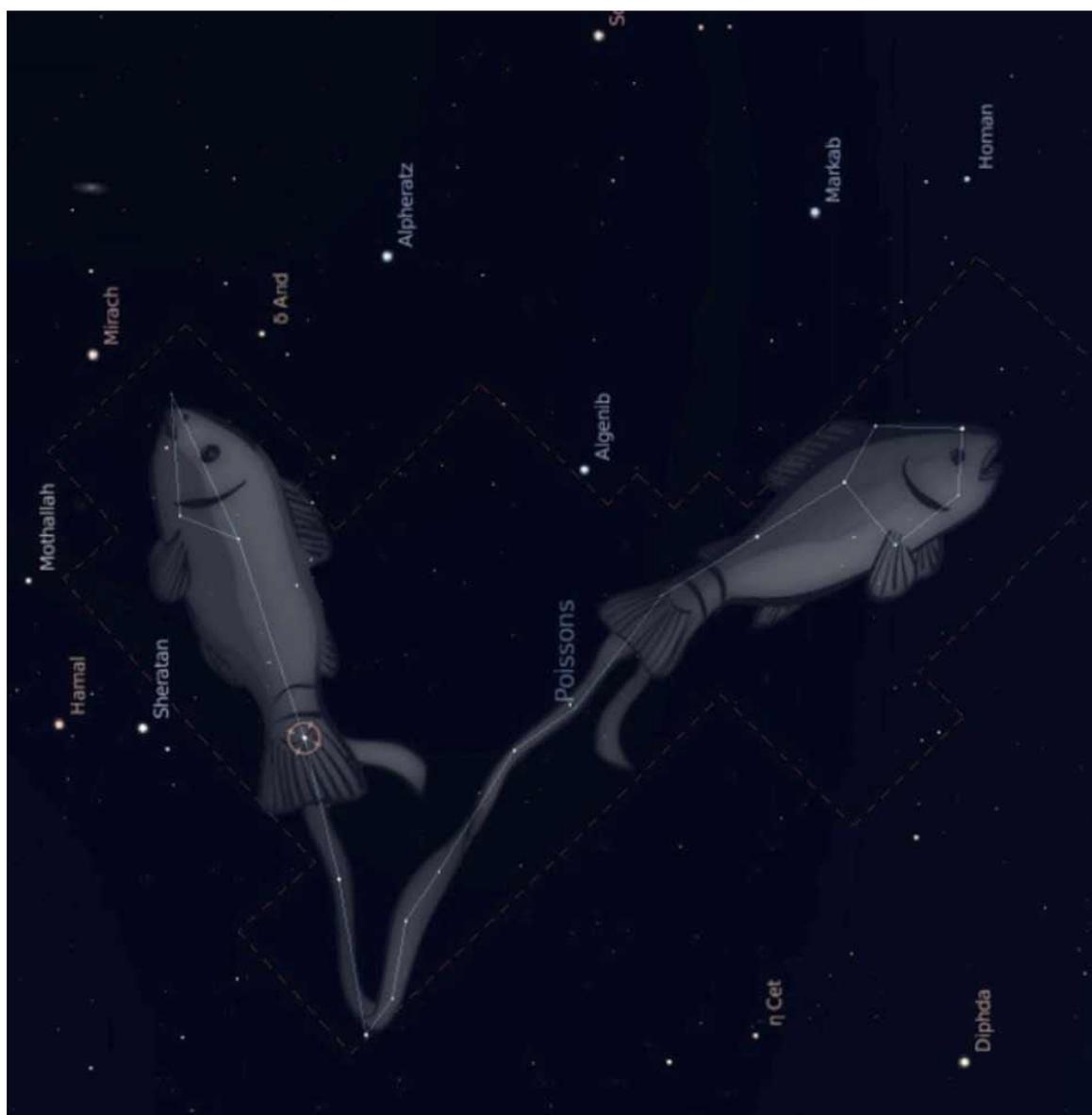


Figura II.12: Constelação de Peixes. Fonte: Astronoo²⁶

²⁶ Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/constelacoes-zodiacais.html>

Apêndice III

Sugestões de respostas para as atividades das aulas 10, 11, 12 e 13.

Aula 10 – questão única - SUGESTÃO DE RESPOSTA: Como as informações viajam com suas velocidades limitadas à velocidade da luz, o instante em que você presencia um evento depende da distancia que você está do ponto onde este ocorreu. Dessa forma, a ordem cronológica que se percebe entre os eventos depende do lugar do espaço a partir do qual você observa esses eventos. Mudando-se o ponto de observação, pode-se mudar a ordem em que os eventos são testemunhados. Isso é válido quando as distâncias entre os pontos de observação são astronômicas.

Aula 11 – questão 1 – Resposta pessoal

Aula 11 – questão 2 - SUGESTÃO DE RESPOSTA: A dilatação do tempo não é um fenômeno psicológico, mas um fenômeno apreciável por previsões matemáticas e por aparelhos de medição em experimentos que as comprovam.

Aula 12 – questão 1 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: O fator que provoca essas diferenças é o novo conceito de simultaneidade. As medidas feitas no espaço absoluto eram facilmente obtidas simultaneamente, pois o tempo tinha uma passagem rítmica igual para todos. Na relatividade, para cada par de medidas feito, só haverá um referencial para o qual estas medidas são simultâneas. Todos os outros referenciais vão medir coisas diferentes, pois estarão fadados a medir esse par de eventos em instantes diferentes.

Aula 12 – questão 2 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: O fato de a velocidade da luz ser a mesma para qualquer referencial (mesmo em movimento) foi interpretado por Einstein como sendo uma propriedade fundamental da natureza. Como consequência dela, decorre que diferentes referenciais perceberão o mesmo evento em diferentes instantes. Isso relativizou o conceito de antes, agora e depois, e gerou um novo conceito para a simultaneidade. Dessa forma, Einstein pôde mostrar que o que era simultâneo em um referencial poderia não ser em outro e disso resultaria que os valores de medidas de tempo e espaço estariam sujeitas ao referencial.

Aula 12 – questão 3 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: A figura mostra um objeto visto sob dois referenciais, os quais têm impressões diferentes da mesma coisa, mas ambas verdadeiras. Isso é o que acontece na contração de Lorentz. O referencial parado e o que se movimenta em relação aos eventos vão medir valores diferentes para as mesmas coisas.

Aula 13 – questão 1 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: No tecido espaço-tempo os corpos têm uma espécie de “aceleração natural” que é causada e direcionada pela curvatura do espaço. Os corpos podem se manter em órbita, num movimento próximo ao circular (como no mundo supralunar). Podem, ainda, ser simplesmente atraídos dos pela curvatura do espaço em direção a uma grande massa, no caso de estarem inicialmente em repouso e terem massa desprezível em relação à grande massa causadora dessa curvatura no espaço (como no mundo sublunar).

Aula 13 – questão 2 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: O primeiro caso representa o espaço-tempo curvo e o segundo, o espaço-tempo plano, descrito pela geometria que conhecemos usualmente. Um exemplo de curvatura do espaço-tempo seria aquela causada pela presença do Sol no centro de nosso sistema solar, cuja massa deforma o espaço-tempo ao seu redor aprisionando os planetas em órbitas. Esses planetas, em movimento inercial, na verdade percorrem o que seria análogo a uma linha reta em um espaço curvo, que foi deformado pela gravidade. Não se trata de uma linha reta, mas de uma linha geodésica, que representa a menor distância entre dois pontos segundo a geometria que descreve o espaço-tempo.

Aula 13 – questão 3 -SUGESTÃO DE RESPOSTA: Quanto mais próximo ao buraco negro, maior é a curvatura do espaço e conseqüentemente maior é a chance de os corpos celestes serem dragados (acelerados em direção à grande massa).