

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FISICA
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Um Curso Introdutório à Astronomia para a Formação Inicial de Professores
de Ensino Fundamental, em nível médio¹**

Sônia Elisa Marchi Gonzatti

Dissertação realizada sob a orientação do Prof. Dr. Trieste Freire dos Santos Ricci e da prof^a Dr^a Maria de Fátima Oliveira Saraiva, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre
2008

¹ Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

DEDICATÓRIA

Foram inúmeras as horas, os dias, os finais de semana, dedicados às diferentes etapas que envolvem a busca e a conquista do objetivo de ser Mestre em Ensino de Física. Diante da oportunidade de estudar em uma instituição conceituada como a UFRGS, ímpar em minha trajetória profissional, não medi esforços para cumprir cada etapa com todo o empenho e a qualidade que estiveram ao meu alcance. Se estou chegando à etapa final, isso só foi possível devido ao apoio incondicional e constante de meu marido, Luiz Alberto, especialmente no que se refere a assumir os cuidados quanto à nossa filha, Roberta, agora com cinco anos, nos inúmeros momentos em que me ausentei, de diferentes maneiras, para alcançar o objetivo a que tinha me proposto. Dedico toda minha alegria, meu esforço, minhas lágrimas, meu título, ao Luiz, à Roberta e ao Leonardo, que está a caminho, sem os quais não teria motivação o suficiente para chegar aonde cheguei.

AGRADECIMENTOS

* Aos meus orientadores, professor Dr. Trieste Freire dos Santos Ricci e professora Dra. Maria de Fátima Oliveira Saraiva, pelo apoio incondicional, pela dedicação, pelas sugestões e contribuições valiosas, por toda competência, compreensão e humanidade com que desenvolvem seu trabalho junto ao Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

* Aos colegas de mestrado, pelo apoio nas horas difíceis, pelos momentos de diversão e riso nos intervalos de aula, nos almoços, nas viagens de ônibus até o campus, especialmente pelos momentos de estudo e de troca no qual nos ajudávamos mutuamente nas dificuldades.

* À professora de mecânica quântica, Ileana Maria Grecca, pela paciência pedagógica com que nos auxiliou a enxergar a física e a natureza de uma outra perspectiva.

* À direção do Colégio Estadual Presidente Castelo Branco – colégio de 1º e 2º graus, nas pessoas das professoras Sílvia Maria Kuhn e Marisa Bastos, pela flexibilidade quando precisei me ausentar e trocar horários de trabalho. Pela confiança em meu trabalho. Pela batalha, ao meu lado, para conseguir licença-prêmio no ano de 2004 e no 2º semestre de 2006.

* Às colegas de coordenação pedagógica do ‘Castelinho’, especialmente a Sandrinha, Ana Luisa e Lucila, que me apoiaram e foram fundamentais nos momentos mais difíceis.

*Ao meu ex-professor e hoje colega, professor Dr. João Batista Siqueira Harres, da Univates, por ser meu eterno incentivador, por confiar em meu potencial, por ser um profissional que eu admiro profundamente pela dedicação e paixão pela causa do ensino e, especialmente, por ser um ombro amigo em tantos momentos...

* Ao meu querido cunhado Ricardo, que tantas vezes assumiu de babá, de motorista, quando eu estava em Porto Alegre, um agradecimento todo especial pela ajuda inestimável em tantas coisas...

* Aos meus pais, Edemar e Santina Marchi, que na sua vida humilde e em sua simplicidade, desde a tenra infância me ensinaram, através das palavras e do exemplo, a importância do conhecimento e do estudo na vida de uma pessoa, mas principalmente os valores da ética, da solidariedade, da ação comunitária, da honestidade e da sinceridade. Agradeço profundamente por tudo que fizeram pela educação de suas filhas, e lhes dedico todas as minhas conquistas.

* À minha sobrinha Eduarda Reginatto, 9 anos, pela contribuição com seus talentosos desenhos.

* À minha prima e babá, Giseli Cristina Marchi, pela inestimável ajuda com a Roberta e com a rotina doméstica.

* Ao grande amigo e ex-colega Fernando Favaretto, pelo auxílio na produção do Abstract.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	2
AGRADECIMENTOS	3
SUMÁRIO	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO	8
Apresentação da temática	10
Justificativa	11
Contexto	13
Estrutura do trabalho	15
Capítulo 2: ESTUDOS RELACIONADOS	16
2.1 Ensino de Mecânica Newtoniana	18
2.2 Ensino de astronomia	23
Capítulo 3: REFERENCIAL TEÓRICO	38
Capítulo 4: METODOLOGIA	47
4.1 Elaboração dos materiais	47
4.2 Aplicação do material sob a forma de estágio supervisionado	51
4.2.1 Desenvolvimento da unidade 1 – força e movimento	51
4.2.2 Desenvolvimento da unidade 2 – astronomia	52
Capítulo 5: DISCUSSÃO DE ALGUNS RESULTADOS	64
5.1 Evolução da aprendizagem quanto a forças e interações	64
5.2 Análise dos níveis conceituais para forma da Terra e gravidade	74
5.3 Evolução da aprendizagem de fenômenos astronômicos cotidianos	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	95
ANEXOS	98
Anexo 1	99
Anexo 2	102
Anexo 3	107
APÊNDICES	111
Apêndice 1	112
Apêndice 2	143
Apêndice 3	214
Apêndice 4	234
Apêndice 5	236
Apêndice 6	239
Apêndice 7	242
Apêndice 8	246
Apêndice 9	251
Apêndice 10	253
Apêndice 11	256
Apêndice 12	258

RESUMO

Nosso trabalho consiste no desenvolvimento e aplicação de um curso de astronomia como parte de um curso de formação de professores de séries iniciais, em nível médio. Nosso foco principal é a abordagem de conceitos e fenômenos relacionados à Terra como corpo cósmico (forma, campo gravitacional, movimentos e fenômenos astronômicos simples). Estudos indicam que há uma conexão entre os modelos mentais dos estudantes quanto à forma da Terra e sua gravidade e que estes conceitos, por sua vez, estão conectados às explicações dadas para outros fenômenos astronômicos. Esses resultados indicam a necessidade de abordar os conceitos envolvidos de forma integrada nos currículos. No contexto da formação de professores, o estudo de temas de astronomia é especialmente relevante pelo fato de serem temas potencialmente interdisciplinares, podendo ser inseridos nos conteúdos de física, química, biologia e matemática. Além disso, a astronomia é um tema especialmente adequado para melhorar o pensamento didático dos professores. Também há a necessidade de superar a considerável diferença entre a compreensão conceitual demonstrada por professores e o modelo científico da Terra e do Universo, tarefa que compete a todos os envolvidos com a formação de professores. Outros estudos que embasaram nossa proposta revelaram que estratégias de ensino-aprendizagem de cunho construtivista são apropriadas à superação desse distanciamento.

Nesse contexto, desenvolvemos unidades didáticas, organizadas numa perspectiva histórico-construtivista, que auxiliem os futuros professores na construção de um modelo da Terra consistente com a visão científica. Elaboramos textos de apoio e guias de atividades relacionados à Terra e aos principais fenômenos decorrentes de suas interações com outros astros. Simulações, explicitação e debate de idéias e atividades práticas são algumas das estratégias de trabalho que propomos para a construção e/ou reformulação de significados durante a aplicação de nosso trabalho.

Ao final do trabalho, e através de diferentes formas de avaliação, constatamos que houve uma evolução conceitual significativa por parte dos estudantes quanto aos conceitos abordados, indicando que a abordagem e as estratégias adotadas colaboraram, em alguma medida, na construção de um modelo de Terra cósmica que se aproxima da visão cientificamente aceita.

ABSTRACT

The present work consists in the development and application of a secondary school astronomy course designed to be part of the elementary grade teacher's formation curriculum. Our main focus is the approach of concepts and phenomena connected with the Earth as heavenly body (shape, gravitational field, movements and simple astronomic phenomena). Studies indicate that there is a connection between student's mental models about the Earth's shape and its gravity and that these concepts, in his turn, are connected to the explanations given to other astronomic phenomena. These results point to the need to broach the concepts involved in an integrated manner in the curricula. In the teacher's formation context, the study of astronomy subjects is very relevant for their interdisciplinary character that allows them to be inserted in the programme either of Physics, Chemistry, Mathematics or Natural Sciences. On the other hand, Astronomy is a subject especially appropriate to improve the teacher's didactic thought. There is also the need to overcome the considerable difference between the conceptual comprehension demonstrated by teachers and the Earth and Universe scientific model, task that is responsibility of all the involved with teacher's formation. Other studies that based our proposal reveal that teaching-learning strategies of constructivistic nature are appropriate to surpass this distance.

In this context, we developed didactics unities, organized in a historical-constructivist perspective, able to help future teachers in the construction of an Earth model solid with the scientific vision. We prepared support texts and activities guides related to the Earth and to the main phenomena resulting from its interactions with another celestial bodies. Simulations, explicit explanations and ideas discussions and practical activities are some of the work strategies that we proposed to the construction and/or reform of meanings during the application of our work.

At the end of the work, and through different evaluations ways, we established that there was a significant conceptual evolution among the students with reference to the broached concepts, indicating that the approach and the strategies used, in some measure, helped in the construction of a cosmic Earth model that is close to the scientifically accepted vision.

INTRODUÇÃO

A sociedade atual está cada vez mais dependente da tecnologia e do conhecimento. Muito do que conquistamos e usufruímos na vida moderna é diretamente dependente do conhecimento físico que a humanidade levou séculos para construir, sistematizar e aperfeiçoar. Por outro lado, no contexto atual, é comum as pessoas não se darem conta do processo complexo que envolve e envolve a produção de conhecimentos subjacentes a tantos recursos e aplicações dos quais dispomos. Também há pouco interesse em entender os conceitos que fundamentam o funcionamento das aplicações e das ferramentas tecnológicas utilizadas. Esse cenário indica que há um grupo minoritário de pessoas que domina o conhecimento e o utiliza no desenvolvimento de bens, materiais e produtos, e uma grande maioria ‘consumidora’, que não é capaz de relacionar teoria e prática.

A escola teve e tem um papel importante nesse processo de aquisição, de construção e de socialização do conhecimento. Portanto, a escola e o ensino por ela proporcionado têm um papel desafiador pela frente. Mais do que ensinar os conteúdos previstos em cada área de conhecimento, é fundamental estabelecer relações desses conteúdos entre si e suas aplicações e desenvolver a capacidade de criar soluções e superar desafios a partir do conhecimento adquirido.

A forma tradicional de ensino - transmissiva e estanque - já comprovou há muito tempo não ser eficaz para que os sujeitos tenham uma aprendizagem significativa, capaz de dar sentido ao objeto de conhecimento. As pesquisas em educação comprovam, ao longo do tempo, o fracasso desse modelo, e por outro lado, apontam caminhos e desenvolvem iniciativas no intuito de melhorar a eficiência da escola no cumprimento de seu papel. Particularmente, as pesquisas em ensino de ciências também apontam para a necessidade de implementar mudanças no processo ensino-aprendizagem em áreas como a física, a matemática e a química, para que os sujeitos, através da escola, adquiram uma formação básica, atualizada, estando minimamente capacitados para relacionar conhecimentos e aplicá-los em diferentes situações. É indiscutível que o ensino dessas disciplinas deva sofrer uma modernização, e isso inclui a atualização dos currículos, a formação continuada dos professores, a implementação e a propagação de experiências inovadoras que tenham apresentado resultados positivos.

Quanto ao ensino de física, em especial, já há uma boa caminhada no campo da pesquisa. Como identificar e tratar didaticamente os conceitos prévios dos estudantes, como se dá o processo de aquisição e evolução da aprendizagem sob as matizes cognitiva e psicológica e suas implicações no ensino são algumas das linhas relevantes de pesquisa. Relatos de experiências diferenciadas de ensino-aprendizagem sobre diferentes temas da física, a formação e o perfil desejável dos professores, o potencial das tecnologias de comunicação e de informação para a aprendizagem, também são temáticas abordadas com frequência na pesquisa em ensino de ciências e de física. Porém, mesmo havendo um grande volume de literatura disponível e avanços conquistados e relatados em nível de pesquisa, ainda há um forte distanciamento entre as possibilidades apontadas e conquistadas e a realidade do ensino que efetivamente acontece na maioria das escolas. Baixa remuneração dos professores, excesso de carga horária de trabalho, pouca motivação pessoal, a falta de programas permanentes e de incentivo à atualização do professor, o tímido intercâmbio entre a comunidade acadêmica das universidades e as escolas da educação básica e seus professores, são alguns dos fatores que contribuem para que esse distanciamento seja difícil de superar. O mestrado profissional do Instituto de Física da UFRGS, do qual temos orgulho de ser integrantes, é uma importante iniciativa que contribui para essa aproximação entre universidade e escola. Nós, professores-mestrandos, somos preparados tanto em nível conceitual quanto metodológico para melhorar nosso desempenho docente. Em contrapartida, nos compete planejar, desenvolver e implementar formas diferenciadas de atuação no ‘chão’ da escola, como também multiplicar e socializar essas experiências com nossos pares de diferentes maneiras.

Mesmo com um cenário adverso na maioria das escolas, é indiscutível o papel do professor em um processo de melhoria e de transformação da escola e do ensino. Isso fica comprovado pelo fato de que a temática da formação de professores ganhou força e se desenvolveu bastante na área da pesquisa em ensino, indicando, ao mesmo tempo, o reconhecimento e a preocupação com o sujeito professor na construção de novos cenários e na obtenção de melhores resultados na tarefa de educar. Parece-nos que o desafio tem dois grandes focos. O primeiro é a garantia de acesso a programas continuados de formação, através da socialização e da disponibilização de trabalhos de pesquisa desenvolvidos tanto em escolas quanto em universidades, da oferta de oficinas e de cursos sobre diferentes temas voltados ao trabalho docente, e da viabilização de alguma carga horária para participação nesses programas.

O segundo foco, que nos parece mais complexo, é resgatar e melhorar a motivação e a auto-estima dos professores para que eles se identifiquem como sujeitos capazes de pesquisar e inovar, superando uma apatia preocupante que percebemos em nossa categoria profissional. Hoje, encontramos na figura do(a) professor(a) um sujeito desacreditado de sua capacidade, acuado frente a tantas demandas e problemáticas que desafiam a escola atual, cuja autoridade é tão pouco respeitada. Essa realidade é muito forte e deve ser levada em consideração nas propostas de mudança, quer curriculares, quer metodológicas, quer estruturais. Assim como há uma conexão inegável entre a motivação do sujeito que aprende, entre o objeto de conhecimento e o processo de aprendizagem na construção de resultados, a mesma conexão existe entre o perfil do professor e o desenvolvimento do seu trabalho.

Apresentação da temática

Com essas considerações iniciais, que nos preocupam e que já nos envolveram em outras fases de nossa atividade profissional, optamos pela temática da formação de professores para desenvolver nosso trabalho de mestrado. Lançar um olhar sobre o professor real que está nas escolas, discutir o perfil ideal para ele frente aos desafios, investigar e propor formas concretas de melhorar a formação docente em nível inicial e incentivar uma atitude mais otimista e autônoma frente ao conhecimento nos adolescentes que pretendem ser professores, foram algumas das motivações que nos levaram a escolher essa temática. O intuito é contribuir com a formação profissional básica de professores para as séries iniciais do ensino fundamental, no que tange à compreensão do mundo físico e de alguns conceitos necessários para ensinar ciências nesse nível. Por fim, também pode ser apresentada como motivação para nosso projeto a necessidade de buscar melhores resultados no ensino de ciências desde as séries iniciais, o que está intimamente relacionado, necessariamente, com a formação de professores. Vários assuntos dos currículos de ciências para as séries iniciais estão fundamentalmente relacionados à física. Desenvolvê-los de forma adequada pressupõe o domínio do professor sobre diferentes conceitos relacionados a essa ciência.

Organizamos um curso introdutório à astronomia com foco principal de abordar os conceitos e os fenômenos relacionados à Terra como corpo cósmico (forma, campo gravitacional, movimentos e fenômenos astronômicos simples). O curso foi dividido em duas Unidades

Didáticas. A primeira, de caráter introdutório à mecânica newtoniana, abordou a noção de força como interação entre corpos, através de uma discussão qualitativa das leis do movimento de Newton, enfocando também aspectos histórico-epistemológicos associados à evolução dos conceitos nessa área. A ela dedicamos 16 horas-aula. A segunda unidade, a prioridade de nosso trabalho, foi dedicada à astronomia. Nela desenvolvemos temas e atividades relacionados ao foco conceitual explicitado acima. A aplicação dessa unidade demandou 40 horas-aula, além da realização de três atividades extra-classe, fora do horário normal de aula. Elaboramos dois textos de apoio, um correspondente à unidade I, outro correspondente à unidade II, os quais foram aplicados durante o desenvolvimento do curso.

Também elaboramos e aplicamos guias de atividades relacionados à unidade II, assim como realizamos algumas atividades e exercícios selecionados da literatura já disponível, por seu potencial didático. Simulações em computador, explicitação e debate de idéias, atividades práticas, o uso de vídeos e de *applets* disponíveis na *web*, foram algumas das estratégias de trabalho que utilizamos para a ressignificação e/ou potencialização dos conceitos envolvidos. O material desenvolvido foi disponibilizado na intranet (rede interna ao Laboratório de Informática) da escola de aplicação, acessível a todos os alunos, e também através de textos impressos. Parte dele também foi anexado ao TelEduc, ambiente de aprendizagem virtual que foi utilizado no curso durante a aplicação da unidade II. Esse ambiente está disponível em <http://teleduc.castelinholaajeado.com.br>. Também trabalhamos com o software educacional Cybersky, versão demo disponível em http://www.cybersky.com/free_trial_version.htm.

Como estratégia geral, optamos pela constante interação dos alunos entre si e com o conteúdo desenvolvido, como forma de contrastar idéias e significados. Nossos objetivos principais foram: i) analisar em que medida avança o conhecimento dos estudantes e qual é o impacto dessa proposta de trabalho sobre a aprendizagem; ii) proporcionar uma melhor compreensão dos conteúdos pelos futuros professores nos estágios iniciais de sua formação.

Justificativa

Os professores de séries iniciais do ensino fundamental geralmente têm uma formação deficiente em áreas como a física. Isso ocorre por diferentes razões. Uma das principais, a nosso ver, é a tendência atual dos currículos dos cursos de formação de professores de equiparar as

cargas horárias de formação geral com as de formação pedagógica e de práticas curriculares. Em decorrência disso, a carga horária total destinada ao aprendizado do conteúdo da física, assim como em outras áreas, fica aquém do desejável. Os efeitos desse cenário se refletem e se multiplicam no ensino de ciências nas séries iniciais. Os professores deste nível se sentem despreparados conceitual e metodologicamente para desenvolver tópicos de ciências, especialmente aqueles relacionados à física. O estudo de Moreira e Ostermann (1999), desenvolvido num ambiente de formação de professores de nível médio, fez essa constatação e apontou o anacronismo entre a disciplina de didática de ciências (formação metodológica) e as disciplinas de química, física e biologia (formação em conteúdo) como um dos elementos para esse despreparo.

Se, por um lado, a tendência atual dos currículos dos cursos de formação inicial de professores é a de promover certo equilíbrio entre a formação metodológico-pedagógica e a formação geral (de conhecimento específico) com o objetivo central de formação de um conhecimento profissional consistente, por outro lado, precisamos investigar quais as abordagens para que essa aprendizagem ocorra de maneira sincronizada e articulada, a fim de otimizar os resultados, e para que o futuro professor efetivamente perceba as conexões entre o conteúdo e sua forma.

Um possível caminho nesta direção, para o caso da física, é optar por uma abordagem conceitual e mais geral, que dê uma noção básica de conceitos físicos que o professor precisa dominar para trabalhar tópicos do currículo de ciências das séries iniciais. Nessa ótica é que optamos por desenvolver um curso introdutório à astronomia, que é um tema com potencial motivador, e com o qual foi possível fazer conexões com diferentes campos de conhecimento da física. Vários estudos recentes revelaram avanços conceituais nas concepções dos estudantes, em relação às concepções prévias, para a explicação de fenômenos como o das estações do ano, da existência de dias e de noites, da ocorrência de eclipses, entre outros, para os quais a base teórica necessária para sua compreensão está naturalmente ligada à astronomia.

No contexto da formação de professores, o estudo de temas de astronomia é relevante por várias razões, entre as quais podemos citar o fato de serem temas potencialmente interdisciplinares e de constarem nos currículos de diversos países, inclusive do Brasil. São temas especialmente adequados para melhorar o pensamento didático dos professores (Martinez-Sebastià, 2004, p.8), pois permitem aliar a discussão metodológica com a formação em conteúdo

básico de física. Isto é, ao mesmo tempo em que são estudados aspectos da Terra e suas interações, é possível, e adequado, analisar a pertinência das estratégias metodológicas utilizadas nesse estudo e avaliar seu impacto sobre a aprendizagem. Também há a necessidade de superar a considerável diferença entre a compreensão conceitual demonstrada por professores e o modelo científico de Terra e de Universo (Barrabín, 1995; Camino, 1995; Parker e Heywood, 1998; Navarrete, 1998), e essa tarefa compete a todos os envolvidos com a formação de professores. Estratégias de ensino-aprendizagem de cunho construtivista, tratando desses temas, foram aplicadas em cursos de formação em nível médio e superior com essa finalidade (Camino, 1995; Parker e Heywood, 1998; Navarrete, 1998; Harres e Kruger, 2000; Martinez Sebastià; 2004). Os resultados obtidos sugerem que essas estratégias foram eficazes para superar esse distanciamento, contribuindo para a evolução do conhecimento profissional de professores em formação e em serviço.

Nosso trabalho está apoiado nesses resultados. Entendemos que a formação de professores requer tanto o domínio do conhecimento disciplinar nas diferentes áreas do conhecimento, quanto o conhecimento pedagógico subjacente ao processo de aprender e ensinar. O material que desenvolvemos e sua implementação, foram a nossa tentativa de contribuir na formação de professores de séries iniciais. Nosso curso foi aplicado em uma turma de curso normal de nível médio no Colégio Estadual Presidente Castelo Branco, de Lajeado, RS. Pretendemos tanto auxiliar os futuros professores na construção de modelos da Terra e do mundo coerentes com a visão científica quanto iniciar a reflexão sobre como se aprende e como se ensina. A dissertação que elaboramos descreve e relata essa experiência e seus resultados.

Contexto

Nosso estágio curricular do mestrado profissional foi realizado em uma turma de 1ª série do Curso Normal² do Colégio Estadual Presidente Castelo Branco, escola pública de ensino fundamental e médio localizada na Rua Bento Gonçalves, 291, centro de Lajeado, RS, pertencente à região de abrangência da 3ª Coordenadoria Regional de Educação, Estrela, RS. O “Castelinho”, como é conhecido, é a maior escola pública da região do Vale do Taquari. Conta

² Apesar da tendência nacional de formação de professores ocorrer apenas em nível superior, no Rio Grande do Sul ainda é oferecida a formação de professores em nível médio, sob a denominação de *Curso Normal*, a qual habilita professores em nível médio para a docência em anos iniciais do Ensino Fundamental e para a Educação Infantil.

com 130 professores, 20 funcionários e uma matrícula de 1.830 alunos (dados de janeiro/2007). Oferece atendimento no ensino fundamental e no ensino médio. O ensino fundamental é oferecido somente à tarde. No ensino médio, são disponibilizadas vagas na modalidade regular e no Curso Normal. Este último também é oferecido na modalidade complementação pedagógica – Normal Adaptação –, exclusiva para egressos do ensino médio que buscam ou necessitam formação profissional para o magistério em nível médio. O ensino médio regular é oferecido nos três turnos de funcionamento da escola, totalizando 19 turmas de 1ª série, 15 turmas de 2ª série e 11 turmas de 3ª série. O Curso Normal oferece vagas nos turnos da manhã e da tarde em 8 turmas (duas de cada série). O Normal Adaptação é oferecido apenas à tarde, em duas turmas. Em 2006, o Curso Normal teve 199 alunos matriculados, além de 40 estagiárias, das quais 38 concluíram o curso com êxito.

Esta modalidade de curso visa à formação de professores, habilitados em nível médio, para atuarem nas séries iniciais do ensino fundamental e na educação infantil. O curso está estruturado em 4 séries mais um estágio curricular de 100 dias letivos. Este estágio é obrigatório para quem quer obter a habilitação de professor para os Anos Iniciais. Nos Planos de Estudos da 1ª e da 2ª séries predominam disciplinas de formação geral, mas já há um início de formação profissional através de disciplinas como Didática Geral, Didática da Educação Infantil e Práticas Pedagógicas. As disciplinas de formação geral totalizam 920 horas-aula no currículo da 1ª série, e 680 horas-aula no currículo da segunda série, para um total de 1040 horas-aula em cada série. A partir da 3ª série, a ênfase dos Planos de Estudos está na formação específica; apenas as disciplinas de Português, Matemática e Inglês são oferecidas até o final da quarta série. Algumas disciplinas são de oferta anual (Português, Matemática, Literatura, Artes e as de formação pedagógica) e as demais, entre elas a Física, são de oferta semestral.

A disciplina de Física dispõe de uma carga horária de 4 horas-aula semanais no 2º semestre da 1ª série (80 h/a), e de 2 horas-aula semanais no 1º semestre da 2ª série (40 h/a), totalizando 120 horas-aula em todo o curso. O Plano de Estudo da disciplina (Anexo 1) prevê o desenvolvimento de noções de ótica, termologia, hidrostática, dinâmica e gravitação universal e já propõe uma abordagem diferenciada da disciplina no Curso Normal. O Plano de Trabalho, sob responsabilidade de cada professor, está em consonância com este documento legal.

A turma na qual realizamos nosso estágio é uma das turmas nas quais trabalhamos regularmente nessa escola, a primeira série do Curso Normal do turno da manhã, o 1N1. Tem 30

alunos, sendo 28 meninas e 2 meninos, sendo que um deles é deficiente auditivo. Devido à oferta semestral da disciplina de Física, iniciamos o trabalho com essa turma em 21 de agosto de 2006, data de início do 2º semestre letivo, com uma previsão de 80 horas-aula a serem desenvolvidas até 10 de janeiro de 2007. Desse total de horas-aula, 56 foram destinadas à aplicação do projeto de dissertação de mestrado, que envolveu noções de dinâmica e o curso de astronomia.

Estrutura do trabalho

Nesta introdução apresentamos a nossa temática de trabalho e as motivações que nos levaram a escolhê-la. Também apresentamos o contexto no qual desenvolvemos nossa proposta de intervenção didática relacionada à temática escolhida. No capítulo 2, apresentamos alguns estudos relacionados à temática. Um dos enfoques é relatar os estudos e destacar alguns de seus resultados. Outro é apontar em quais aspectos teóricos e metodológicos nos inspiramos para elaborar e fundamentar nossa proposta. No capítulo 3 apresentamos, sinteticamente, o referencial teórico que fundamentou a elaboração dos materiais utilizados e a opção metodológica para tratar dos temas desenvolvidos. No capítulo seguinte, 4, vamos descrever com mais detalhes a elaboração de nosso material e relatar como aconteceu sua aplicação junto aos estudantes da turma de estágio. O capítulo 5 é destinado à apresentação e à discussão dos resultados obtidos, ressaltando aspectos positivos e a melhorar tanto no que se refere ao desenvolvimento das aulas quanto à pertinência do material utilizado. O capítulo 6 corresponde à conclusão desta dissertação, no qual apresentaremos algumas considerações finais sobre o que foi discorrido nos capítulos anteriores.

Capítulo 2: ESTUDOS RELACIONADOS

Pesquisas quase sempre foram, e são, motivadas por problemáticas reais que primeiro devem ser analisadas para posteriormente serem solucionadas. Geralmente, elas propõem soluções ou pelo menos indicam novos rumos ou diretrizes alternativas para serem seguidas e implementadas no contexto onde a problemática é identificada. Novas teorias, novos conhecimentos, novas aplicações, novas realidades, são alguns dos resultados dessa tarefa constante e complexa desenvolvida pelo ser humano e que pode estar a serviço de diferentes interesses e objetivos. Não é diferente na área da educação e do ensino. À medida que a escola e o ensino passaram por um processo de democratização e universalização, as problemáticas enfrentadas pela escola também mudaram e evoluíram. Quando o problema era o acesso, medidas como a ampliação dos espaços, o respaldo da legislação, o transporte escolar, a garantia de gratuidade nas escolas públicas, oportunizaram que a maioria das crianças e adolescentes esteja atualmente matriculada em escolas. Agora, os desafios são a permanência e o sucesso escolar desses estudantes. Com muito mais alunos freqüentando escolas, e os resultados preocupantes tanto no que se refere às estatísticas quanto às habilidades adquiridas, ficou evidente a inadequação dos modelos meramente transmissivos e lineares de ensino para promover uma aprendizagem significativa. Essa é uma maneira possível de analisarmos o papel da pesquisa frente ao contexto em que é desenvolvida, o que não elimina outros olhares e outras análises.

A partir desse ponto de vista, é possível sugerir que as pesquisas em ensino, particularmente em ensino de ciências e de física, surgem como uma alternativa para enfrentar a problemática da baixa eficácia das propostas de ensino largamente praticadas nas escolas. Saber como o sujeito aprende, como lida com novas informações e como lhes dá significado, como se dá a evolução da aprendizagem do ponto de vista cognitivo e psicológico, são exemplos de questões que passaram a ser temas relevantes para o ensino e para a pesquisa em ensino. Investigar e propor alternativas de trabalho inovadoras, isto é, planejar e implementar experiências curriculares apoiadas em novas teorias de aprendizagem também é um enfoque que ganhou impulso e que tem um papel importante no enfrentamento da realidade educacional predominante em nível nacional. Outra temática relevante na área de pesquisa em ensino é a da formação de professores. De pouco adianta a realização de inúmeros debates e as propostas de

sugestões, estudos, publicações, ou conclusões de trabalhos de pesquisa, se não for investido na formação de um dos atores principais do processo ensino-aprendizagem, o professor e a professora. Ainda é um desafio encontrarmos formas de disseminar os resultados das pesquisas para que cheguem às escolas e aos professores, e desafio maior ainda é fazer com que a pesquisa e a reflexão teórico-prática aflorem da própria prática cotidiana do professor, com ele assumindo um papel ativo no processo.

Partilhamos da preocupação sobre como contribuir na formação de professores, quer na formação inicial, quer na formação continuada, para que esse profissional tenha o perfil e o grau de conhecimento do conteúdo desejável para desempenhar satisfatoriamente seu trabalho no cotidiano escolar. Nossa preocupação é corroborada por vários estudos, os quais apontam que ainda há um distanciamento real entre o conhecimento desejável para o professor e o conhecimento que efetivamente ele possui e multiplica em seu trabalho. Barrabín (1995), Camino (1995), Parker e Heywood (1998), Navarrete (1998), Moreira e Ostermann (1999), Martínez-Sebastià (2004), são alguns dos que fizeram essa constatação em trabalhos que abordaram conceitos ligados à astronomia e à física. Por outro lado, estudos envolvendo as concepções sobre os mesmos temas com crianças e adolescentes revelaram resultados surpreendentemente similares àqueles encontrados entre os professores. Isso pode ser analisado sob alguns ângulos distintos. Um deles, é que o professor é, naturalmente, um propagador de idéias; se o seu conhecimento é superficial, ou mesmo inadequado, ele o repassa dessa forma, para seus alunos, ao longo do tempo em que interage com eles. Sob outro ângulo de análise, tanto o professor quanto o aluno passariam por um processo similar, de natureza cognitiva, de evolução de idéias. Isto é, o sujeito, independente do seu papel no contexto da escola, ao explicitar seus modos de pensamento e contrastá-los com outros, tem a oportunidade de evoluir e de qualificar seus conceitos e modelos teóricos explicativos de fenômenos e situações. Qualquer um desses ângulos revela o quão importante é investir na formação permanente do professor.

Ao optarmos em desenvolver um curso de astronomia para professores em formação inicial, tínhamos em mente esses cenários a que nos referimos e que relataremos com mais detalhes ainda nesse capítulo. Assim, realizamos uma revisão de literatura com alguns enfoques direcionados. O primeiro deles foi o de relatar os estudos já feitos a respeito e destacar alguns de seus resultados, especialmente aqueles que dizem respeito às implicações para o ensino-

aprendizagem. Outro enfoque é apontar em quais aspectos teóricos e metodológicos nos inspiramos para elaborar, fundamentar e analisar o impacto de nossa proposta.

Organizamos nossos estudos de apoio em duas seções: a primeira, mais concisa, trata do ensino de mecânica newtoniana. A segunda trata do ensino de astronomia. A segunda seção, por sua vez, está direcionada para duas grandes temáticas: uma que contempla artigos que analisam as concepções em astronomia tanto de estudantes (crianças e adolescentes) quanto de professores (em formação inicial ou em serviço); a outra é dedicada a estudos cujo foco foi o desenvolvimento e a análise de experiências didáticas inovadoras desenvolvidas no ensino de astronomia. Sob o ponto de vista de conteúdo, escolhemos artigos relacionados ao foco conceitual da Terra como corpo cósmico, que envolve, por um lado, os conceitos da forma do planeta e o seu campo gravitacional e, por outro, a explicação de fenômenos astronômicos como dias e noites, estações do ano e fases e eclipses lunares, ligados às interações das quais a Terra ‘participa’ em nível cósmico.

2.1 Ensino de Mecânica Newtoniana

Antes de apresentarmos algumas idéias básicas encontradas na literatura sobre esse tema, entendemos pertinente justificar porque incluímos alguns tópicos de mecânica clássica em nossa proposta de trabalho. Este é um tema previsto nos Planos de Estudos do Curso Normal, que em algum momento do curso de física deveria ser desenvolvido. Após análise e discussão, optamos por desenvolvê-lo antes do curso de astronomia propriamente dito. Considerando que alguns conceitos da mecânica são abrangentes, estão relacionados a tópicos de astronomia e, portanto, seriam retomados na unidade II, surgiu a alternativa de que esse assunto também fizesse parte do nosso curso e do nosso material, com um caráter introdutório. Na proposta que desenvolvemos, no entanto, não tivemos a pretensão de cobrir toda a extensão de conceitos e equações associados à mecânica clássica, mas sim trabalhar noções e conceitos básicos, com uma função *estruturante* e com enfoque basicamente qualitativo. Assim, o objetivo foi apresentar alguns conceitos da mecânica de uma maneira concisa e focada, visando à compreensão dos eventos astronômicos que estão relacionados às interações entre corpos cósmicos, que foram discutidos durante a aplicação da unidade II.

Tanto nossa experiência enquanto professores quanto a literatura especializada apontam a temática das leis do movimento de Newton como uma das mais complexas e de mais difícil compreensão dentro da física clássica. As noções cientificamente corretas são altamente contra-intuitivas, ferem a lógica com que o sujeito observa o mundo, mesmo a lógica com que se apresenta o ‘mundo’ que nos é mais próximo e familiar. Não encontramos facilmente, em nosso meio, situações que sirvam para corroborar a primeira lei de Newton, isto é, uma situação que envolva um objeto que se move indefinidamente, com velocidade constante e em linha reta. Essa hipótese soa como impossível para muitas pessoas. Em nível teórico, é muito comum pessoas leigas associarem a necessidade de uma força para manter um movimento, seja ele de qualquer espécie. Essa idéia se concretiza no fato de que objetos ou coisas lançados sobre uma superfície plana qualquer, invariavelmente param após algum tempo de movimento, ou no fato de que um objeto que está sendo puxado ou empurrado só se movimenta enquanto houver essa ação de contato. A experiência diária que temos, muito mais que as previsões de uma teoria, é que fundamenta e que marca profundamente o modo de pensar de um sujeito. Mesmo que em nível formal um estudante de física aplique corretamente as leis de Newton na resolução de problemas, as idéias alternativas continuam fortemente enraizadas, coexistindo com o novo conhecimento, que geralmente carece de sentido e credibilidade. A história da física também evidencia o quão longo e complexo foi o processo de romper com as concepções simplistas arraigadas e com os princípios relacionados à mecânica aristotélica e substituí-los gradativamente pelas da mecânica newtoniana. Apesar da maior abrangência desta última, com a unificação que Newton realizou entre os mundos terrestre e celeste, a mecânica aristotélica parece muito mais lógica ao leigo e freqüentemente embasa os raciocínios conceituais dos estudantes e até de professores.

O estudo de Peduzzi (1996), aponta para a necessidade de não ignorar a física aristotélica ao ensinar a mecânica newtoniana, uma vez que geralmente o senso comum do aluno está apoiado nesse paradigma. O fato constatado pelo autor, e por ele criticado, de que a grande maioria dos livros de texto do ensino médio brasileiro dá pouca ênfase a aspectos históricos da relação entre força e movimento, compromete a aprendizagem do estudante e “inibe qualquer relacionamento entre este referencial e o senso comum do aluno, deixando à margem do processo educativo um importante resultado da pesquisa educacional: o fato de que para estudantes de qualquer nível de escolaridade não pode haver movimento sem força e que força e velocidade são proporcionais” (Peduzzi, 1996, p.49). Abordar o paradigma aristotélico ao ensinar física

favoreceria correlações entre esse referencial e o senso comum do aluno, o que ajudaria o estudante a identificar similaridades e divergências e proporcionaria uma aceitação gradativa de novos conceitos, amparados agora em novos paradigmas. Além disso, o estudo aponta para a importância de relacionar as idéias de Aristóteles a respeito da mecânica com sua concepção de mundo, que também deve ser apresentada aos estudantes. Outro estudo, de Rezende e Barros (2001), aponta para a necessidade de aproximar os conceitos intuitivos dos sujeitos para facilitar a construção do conhecimento cientificamente aceito. Nesse estudo, foi realizada uma ampla revisão de vários estudos sobre concepções alternativas em mecânica, na qual os autores constataram que, na maioria dos casos, as concepções espontâneas diferiam do conhecimento científico e persistiam mesmo após um período de ensino sobre o tema.

Na prática docente, adotar esse enfoque implicaria em explicitar e discutir as idéias dos alunos, identificando similaridades e divergências com as idéias históricas sobre força e movimento. A idéia é situar o nível de raciocínio do aluno em níveis que vão desde a física aristotélica, passando por teorias de transição, até um nível pré-newtoniano ou mesmo newtoniano. Se já foi comprovado que é muito difícil substituir paradigmas e conceitos nesse campo de conhecimento da física (Peduzzi, 1996, Resende e Barros, 2001, Brutti, Colletto e Oliveira, 2000), pelo menos há a oportunidade do aluno perceber um certo paralelismo entre a evolução de suas idéias e a construção histórica das mesmas. As estratégias de ensino planejadas devem ajudar a revelar as limitações desse paradigma, mas também destacar sua importância para a evolução do conhecimento físico. Tivemos esses aspectos em conta para planejar nossa abordagem didática da Unidade I. Aplicamos uma coletânea de questões disponível na literatura com a finalidade de identificar os níveis de pensamento dos alunos e fomos explorando as concepções manifestadas durante as aulas. Nosso texto de apoio da Unidade Didática I também dá destaque para os aspectos históricos e epistemológicos associados à evolução dos conceitos em mecânica.

O estudo de Moraes & Moraes (2000), que também consultamos, relata a aplicação, em nível nacional, de uma proposta americana denominada *Avaliação Conceitual de Força e Movimento*, cujo objetivo é melhorar o ensino e a aprendizagem em Física. Um teste é aplicado com o objetivo de avaliar (1) se os estudantes fazem suas análises do mundo a partir da concepção newtoniana; (2) se são capazes de correlacionar conceitos; e (3) se interpretam e relacionam gráficos e tabelas. Os autores aplicaram o mesmo teste a três grupos diferentes de

alunos, formados por alunos de ensino médio da rede particular e pública de Goiânia e por alunos de ensino superior do curso de física da UFG. A característica comum aos três grupos é que todos eles já haviam estudado Mecânica. Em relação ao total de alunos, apenas 25,22% responderam as questões de maneira correta, o que representa menos de 6 questões corretas, em média, por aluno. Ao analisar esse resultado geral e outras estatísticas produzidas com o estudo, os autores destacam alguns fatores. As turmas avaliadas receberam suas aulas sob uma metodologia tradicional, basicamente com aulas teóricas. Tudo indica que a interpretação física que eles fizeram em relação à situação proposta foi superficial ou mesmo equivocada. Os autores também constataram que muitos alunos “não entenderam o conceito de força resultante nem a relação entre força e variação de velocidade” (Moraes e Moraes, 2000, p.9), e que eles acreditam, equivocadamente, que “se há variação de velocidade de um corpo, esta é acompanhada pela variação da força resultante sobre esse corpo” (ib., p.9). Outro resultado importante destacado pelos autores é que o menor percentual de acertos das questões aconteceu no subgrupo de alunos de segundo ano, revelando uma baixa retenção do tema visto no primeiro ano. Resultados desse estudo corroboram os de outros estudos, de que o tema é de difícil compreensão e assimilação, indicando pela necessidade de mudar a abordagem de ensino da temática força e movimento. Entre as idéias finais dos autores e suas conclusões, destacamos e compartilhamos que “é necessário mudar-se a metodologia do ensino de Física”; que os alunos aprenderam mecanicamente; que “a concepção conceitual predominante é a concepção aristotélica para a descrição dos movimentos” (ib., p.13).

O estudo de Brutti, Colletto e Oliveira (2000), também se refere à aplicação de testes com o objetivo de analisar o conhecimento dos estudantes sobre força e movimento e compará-lo à concepção científica newtoniana. Seus resultados revelaram, novamente, um distanciamento entre o conhecimento prévio e o científico, constatando que o pensamento dos estudantes é bastante influenciado por conceitos intuitivos, alternativos aos científicos. Os intuitivos mostraram-se ligados a esquemas conceituais historicamente superados, como a lei de força de Aristóteles, a teoria da força impressa, ou ainda, a teoria do *impetus*. Segundo os autores, “o conhecimento científico apresentado na escola é formado de um conjunto de relações e modelos abstratos afastados da percepção comum [...] e por isso, no início da aprendizagem das teorias científicas, quase não há relação entre estas e o conhecimento espontâneo, pois a significação atribuída a cada um deles é diferente” (Brutti, Colletto e Oliveira, 2000, p.61). De fato, cada um

de nós atribuímos significados diferentes a coisas, fatos e conceitos, pois somos diferentes e vemos o mundo de maneiras diferentes. Conhecer o mundo físico envolve interagir com ele, e nessa interação é que vamos formando nossas próprias concepções e desenvolvendo significados sobre o que nos rodeia. Como geralmente as situações de ensino não prevêem o confronto entre esses dois pontos de vista, o mais comum é que o sujeito mantenha suas concepções espontâneas coexistindo com as concepções ensinadas em sala de aula, e depois vai apagando gradativamente essas últimas de sua estrutura mental e continua explicando o mundo com seus modelos espontâneos (ib, p.62). Verifica-se que geralmente é isso que acontece. O resultado geral do estudo, de que “as respostas dos estudantes, de maneira geral, confirmam que os conceitos intuitivos em relação à segunda lei de Newton relacionam força e velocidade e, velocidade e aceleração, numa relação de proporcionalidade” (Brutti, Colletto e Oliveira, 2000, p.77), ratifica essa coexistência de significados, ou pelo menos, que os conceitos são fortemente apoiados nas vivências cotidianas e no senso comum.

Na pesquisa em ensino de física, em que um dos focos é a formação de professores, é uma diretriz consensual que o processo ensino-aprendizagem deve estar apoiado em uma perspectiva construtivista. Segundo Harres (2002, p.95), essa é a postura teórica defendida como conhecimento profissional desejável aos futuros professores. Atualmente, o conhecimento profissional desejável é reconhecido como o conjunto de conhecimentos, posturas e habilidades que o professor deve incorporar à sua formação e à sua prática, e que envolve, por um lado, o domínio do conteúdo específico, ou seja, da matéria de ensino, e, por outro lado, o domínio do conhecimento pedagógico do conteúdo. Conhecimento pedagógico do conteúdo é entendido como o domínio de estratégias e de metodologias que favoreçam a aprendizagem e a evolução conceitual, como também o conhecimento de teorias de aprendizagem que possam apoiar a tomada de decisões curriculares. Portanto, surge como uma forte tendência na formação de professores que esses vivenciem, já em sua formação inicial, experiências de aprendizagem apoiadas em uma perspectiva construtivista. Então, para Harres (2002), se pretendemos que os professores assumam uma perspectiva construtivista em seu trabalho, é necessário educá-los sob tal perspectiva.

Deste estudo, destacamos alguns pressupostos que consideramos importantes. Um deles é o de proporcionar ao (futuro) professor a vivência de um processo de tomada de consciência de suas idéias e de reflexão sobre suas próprias concepções e seu aprimoramento a fim de construir

sua aprendizagem. Tal processo pode contribuir para que ele perceba que as crianças e os adolescentes também chegam às escolas com muitas concepções prévias espontâneas e com teorias sobre o mundo e os fatos. Isso, por sua vez, pode favorecer que o futuro professor venha a levar em conta esses aspectos em sua prática profissional, inspirado na sua própria experiência formativa. O citado autor trabalhou nesse enfoque em uma disciplina de laboratório de ensino de ciências (LEC), cujo foco era aproximar os estudantes de sua futura prática profissional. Entendemos que este é um fator decisivo na formação profissional de professores. Mais que colocá-los em contato com as novas teorias, as novas estratégias, é imprescindível que conduzamos a sua formação como um espaço real de vivências de experiências didáticas de fato diferenciadas e inspiradas nas diferentes teorias que embasam o ensino e a aprendizagem em uma perspectiva construtivista. Independentemente do assunto abordado, ou do nível, nos parece que esse fator tem um peso importante na busca de um professor com conhecimento profissional desejável e apto a enfrentar os desafios atuais do ensino. Outro pressuposto que destacamos deste trabalho é que torna-se necessário “agregar permanentemente ao trabalho o caráter não acabado, limitado e construtivo de qualquer concepção (inclusive a newtoniana) sobre força e movimento” (Harres, 2002, p.98), para tornar explícito o caráter relativo do conhecimento em geral. Neste ponto, esse estudo converge para o realizado por Peduzzi (1996), quanto à necessidade de um enfoque epistemológico, que não omita a historicidade associada à evolução das idéias em diferentes áreas. Por último, destacamos e concordamos que a abordagem adotada pelo autor em seu trabalho permite que os futuros professores, “ao identificarem as dificuldades dessas idéias para serem aceitas na comunidade científica, associando-as às suas próprias dificuldades de evolução conceitual na disciplina, desenvolvam uma postura compreensiva das dificuldades de seus futuros alunos” (Harres, 2002, p.99).

2.2 Ensino de astronomia

A astronomia é uma das ciências mais antigas. A atitude de observar o céu esteve ligada a questões de sobrevivência e, posteriormente, de compreensão sobre nosso próprio planeta. Cronologicamente, é impossível determinar quando esse processo de interesse e de tentativa de compreensão do céu teve início, mas há indícios de que já na Pré-Antiguidade o homem tenha se preocupado com essa questão (Argüello e Neves, 2001, p.13). A necessidade de sobrevivência

estava atrelada à necessidade de compreender os ritmos da natureza; a repetição extremamente regular de épocas climáticas com características diferentes dentro de um período delimitado de tempo parecia estar associada ao movimento e à posição dos astros no céu. O Sol, as estrelas, a Lua, sua configuração e suas posições foram analisadas empiricamente e associadas à ocorrência desses ciclos de tempo. Assim, a medição da passagem do tempo foi uma das primeiras aplicações do estudo do céu. Durante séculos, o homem construiu modelos que permitissem determinar sua localização no Universo e descrever como é a nossa ‘casa’. Conhecer e analisar constantemente os astros do céu foi fundamental para compreender e localizar a própria Terra no Universo. À medida que esses modelos foram evoluindo, alguns sucumbindo e outros se consolidando, novas aplicações da astronomia foram surgindo. Hoje a localização da Terra e do sistema solar no Universo é bem determinada, a medição e a compreensão da passagem do tempo são extremamente precisas, embora o próprio tempo seja, ainda, um dos grandes enigmas físicos e filosóficos da ciência. Embora a medição do tempo esteja determinada pelos movimentos cíclicos da Terra, o fluxo do tempo, e o próprio tempo, são uma estrutura básica do universo. Questões mais complexas, como a origem e o fim do Universo, se sua expansão será infinita ou não, o conhecimento mais profundo sobre a constituição de astros cósmicos distantes, são algumas das questões que estão na pauta atual dos astrônomos e que revelam o caráter ininterrupto da busca do ser humano por conhecimento.

Muitos dos conhecimentos produzidos no campo da astronomia estão relacionados diretamente ao nosso modo de vida, aos nossos hábitos, na medida em que a medição do tempo e as alterações climáticas às quais temos que nos adaptar são determinados pelo movimento orbital da Terra em torno do Sol e pela rotação do planeta em torno de si mesmo. Por outro lado, nossa localização na própria Terra também determina a intensidade dessas alterações. Dias e noites, sucessão de anos e de estações, fases lunares são fenômenos comuns na nossa rotina e que estão associados à natureza cósmica da Terra, que envolve tanto sua forma, localização, quanto sua participação em interações gravitacionais. Esse foco teórico é que abordamos em nosso curso.

Deste vasto campo de conhecimentos e temas ligados à Astronomia, alguns conhecimentos básicos devem ser dominados pelos professores, entre eles aqueles ligados às explicações para fenômenos astronômicos simples, associados aos ciclos de tempo, que envolve uma teoria sobre o ‘lugar’ da Terra no universo, e a uma visão de Terra cósmica, capaz de relacionar sua forma e suas interações com a gravidade. Portanto, em sua formação, quer inicial,

quer continuada, os professores devem ter contato com tais temas, já que se espera que, em sua prática futura, demonstrem domínio conceitual e metodológico sobre assuntos que vão desenvolver. Para isso, os professores devem estar preparados, tanto do ponto de vista teórico quanto metodológico. Entendemos que os professores, sejam de física, ou de ciências no ensino fundamental, e também os das séries iniciais, devem ter um conhecimento teórico básico sobre a Terra e os principais fenômenos que a envolvem, para auxiliar os estudantes na construção de um modelo de Terra e de mundo coerente com a visão científica atual.

Mas essa é a situação esperada. Vários trabalhos que investigaram as concepções dos professores em astronomia apontaram que, geralmente, há considerável diferença entre a compreensão conceitual demonstrada por professores e o modelo científico de Terra e de Universo que deveriam estar ensinando (Barrabín, 1995, Camino, 1995; Parker e Heywood, 1998; Navarrete, 1998; Martinez-Sebastià, 2004). Apresentaremos os principais resultados desses estudos, incluindo propostas de superação desse cenário, e ao mesmo tempo construiremos analogias entre esses estudos e outros que investigaram concepções em astronomia entre crianças e adolescentes.

Barrabín (1995), investigou tanto as concepções de estudantes de ensino primário e secundário quanto as de professores em processo de formação de nível superior. Investigou alguns aspectos do modelo Sol-Terra, como a forma da Terra, a órbita terrestre e a origem das estações. Ele constatou, por exemplo, que tanto adolescentes quanto futuros professores usavam, em sua maioria, a idéia errônea de que a distância da Terra ao Sol seria a razão para explicar a ocorrência de estações, ou essa idéia junto com a de que a inclinação do eixo da Terra também seja responsável pelo fenômeno (Barrabín, 1995, p.232). Ao constatar que o conhecimento dos professores é diverso daquele cientificamente aceito, o autor faz proposições importantes. Primeiro, defende que é importante desenvolver um conhecimento anterior, adequado, a respeito da forma da Terra e de sua gravidade, pois esses conceitos seriam subsunçores³ necessários para a compreensão dos modelos que expliquem as interações Sol-Terra (ib., p.235). De fato, para compreender as principais interações na qual a Terra está envolvida, é necessário anteriormente explicitar e reconhecer previamente seu caráter cósmico, o que implica uma transição de uma concepção de Terra plana para a de uma Terra esférica, que por sua vez, implica estabelecer conexões entre o campo gravitacional da Terra e sua forma. Em segundo lugar, o autor constatou

³ Conceito ausubeliano para definir conceitos com função estruturante na estrutura cognitiva de um sujeito.

que a própria linguagem e muitos livros-texto disponíveis podem reforçar as concepções alternativas manifestadas pelos sujeitos. Em terceiro lugar, ele afirma que o papel da escola e do ensino é aproximar as concepções espontâneas dos alunos daquelas cientificamente aceitas. Nessa sugestão, está implícita a relevância de se trabalhar com os conhecimentos prévios dos sujeitos. É necessário que se oportunize a comparação e o conflito entre modelos diferentes, para que o sujeito vá incorporando novos conceitos, ou novos significados aos conceitos que ele já detém, à sua estrutura cognitiva. Um exemplo é o caso de estudantes que sabem que a Terra exerce atração gravitacional, mas supõem que objetos soltos do pólo sul cairiam no espaço cósmico. Ou sabem que a Terra é redonda, mas admitem que ela seja habitada apenas em suas regiões planas. É evidente a necessidade de se trabalhar com esses estudantes a fim de ampliar o significado e as aplicações que eles atribuem à gravidade. Por fim, Barrabín sugere, como estratégia geral, a necessidade de provocar conflitos cognitivos entre o modelo pessoal dos sujeitos e o modelo científico.

Em concordância com o artigo de Barrabín citado, Nussbaum (1979), também concorda que não é apropriado tratar diretamente aspectos conceituais mais avançados em detrimento daqueles mais simples, mas fundamentais à assimilação de um modelo mais adequado. Para isso, a identificação e a caracterização da Terra como corpo cósmico são conhecimentos prévios para a compreensão de fenômenos cujas causas estão relacionadas às interações de nosso planeta com outros corpos do espaço cósmico. Em seu trabalho, ele também destaca que a noção de Terra cósmica é um conceito subsunçor a ser desenvolvido previamente às explicações de fenômenos astronômicos originados a partir das interações gravitacionais da Terra com o Sol e com a Lua. Metodologicamente, isso implica em desenvolver antes a aprendizagem de aspectos referentes à Terra no espaço – tamanho, forma, inclinação, gravidade. Adotamos essa abordagem e suas implicações metodológicas na implementação de nosso trabalho; trabalhamos anteriormente com a forma da Terra e a gravidade, para depois tratar dos fenômenos astronômicos simples.

Embora o estudo de Nussbaum (1979) tenha sido desenvolvido com crianças e adolescentes, os resultados obtidos resultaram bastante similares àqueles encontrados entre adultos, em estudos análogos. O fato de que concepções espontâneas com as quais os sujeitos explicam fenômenos astronômicos ou a forma e a gravidade da Terra apresentem similaridades, as quais fazem parte dos modelos mentais tanto de professores (adultos) quanto de crianças e adolescentes, pode estar associada a alguns fatores e traz algumas análises interessantes. Uma

idéia importante associada a essa constatação sugere que o indivíduo, durante a evolução do seu pensamento, apresenta um desenvolvimento similar à evolução das idéias da humanidade ao longo da história da ciência. Para vários pesquisadores (Baxter, 1989; Sneider e Ohadi, 1998; Navarrete, 1998; Martinez-Sebastià, 2004), que assumem um enfoque histórico-epistemológico para a construção do conhecimento, a evolução do pensamento de um indivíduo é vista como um paralelo ao desenvolvimento histórico das idéias na área da astronomia. Essa é uma das idéias que aplicamos em nosso trabalho, o enfoque histórico-epistemológico adotado por algumas teorias construtivistas de ensino.

O trabalho de Baxter (1989) revela que as teorias usadas por crianças para explicar dias e noites, as fases da Lua e as estações do ano lembram idéias que remontam à Idade Média (p. 503). Segundo o autor, ao se desenvolverem através de um processo de mediação proporcionado pelo ensino, essas crianças passam por uma evolução similar àquela ocorrida em nível histórico, superando suas noções mais ingênuas, transitando por noções intermediárias até atingirem o nível das noções cientificamente aceitas. Esse processo individual vivenciado pela criança durante seu desenvolvimento é análogo ao desenvolvimento das concepções históricas a respeito da forma da Terra.

Sneider e Ohadi, (1998), investigaram as concepções de crianças americanas sobre a forma e a gravidade da Terra. Eles também obtiveram como resultado que suas concepções espontâneas transitavam desde níveis mais ingênuos ou egocêntricos (Terra plana e estática no centro do universo) até noções mais próximas da noção científica de uma Terra esférica, revelando idéias sobre a forma do planeta que são similares àquelas descritas na história da ciência. O principal foco desse trabalho foi aplicar uma proposta metodológica organizada em uma abordagem histórico-construtivista e analisar sua influência sobre a mudança das concepções dos estudantes acerca da forma e da gravidade da Terra. Através de professores multiplicadores previamente capacitados, os autores aplicaram uma proposta de ensino sobre tópicos de astronomia envolvendo a noção de Terra cósmica. Nos grupos contemplados com a vivência da proposta, houve uma mudança conceitual mais significativa do que naqueles grupos não submetidos à experiência. Com esse resultado, Sneider e Ohadi apontam que o ensino de ciências, especialmente o de astronomia, pode se beneficiar de uma abordagem histórico-construtivista, em que além de se aprender sobre a justificativa das teorias modernas (mais corretas), discute-se também como e porque teorias mais antigas foram rejeitadas (1998, p.268).

Nessa ótica, eles defendem que a mudança conceitual, que deve ser provocada do ponto de vista metodológico, é o equivalente a uma revolução científica em nível pessoal.

Outro defensor desse paralelismo pessoal-histórico é Martínez-Sebastià (2004). Em seu trabalho, optou por um enfoque histórico-epistemológico ao investigar concepções em astronomia entre professores e futuros professores e desenvolver uma proposta de formação com referencial teórico histórico-construtivista. Seu objetivo era analisar o impacto da experiência de formação construtivista no conhecimento profissional destes professores. Para Martínez, a análise da evolução histórica dos conceitos pode ajudar os professores a compreenderem melhor as dificuldades conceituais de seus alunos. Isso, por sua vez, contribuiria na tomada de decisões didáticas mais favoráveis à superação dessas dificuldades (2004, p.10). O mesmo autor também destaca que as concepções acerca de fenômenos astronômicos encontradas entre os professores apresentam muitas similaridades com as concepções reveladas em estudos com crianças. Essa constatação também é feita nos trabalhos de Camino (1995) e de Navarrete (1998), quando estudaram concepções de professores e as compararam àquelas das crianças, relatadas em outros estudos.

Há um outro fator que serve à análise da similaridade entre concepções de adultos e adolescentes, além da evolução de idéias em nível pessoal ser análoga à sua evolução histórica. Embora as idéias que apóiam uma noção alternativa se repitam entre faixas etárias diferentes, *cross-age studies* (Baxter, 1989; Nussbaum, 1979; Nardi e Carvalho, 1996) revelaram que as noções mais ingênuas vão declinando com a idade. Esses estudos foram desenvolvidos justamente para comparar com que frequência cada conjunto ou categoria de idéias se manifesta conforme a faixa etária. Um resultado comum a esses trabalhos é o de que noções mais ingênuas ou egocêntricas são mais frequentes entre as faixas etárias mais jovens – que envolvem crianças desde os seis anos -, e declinam à medida que a idade aumenta. Baxter (1989) demonstra estatisticamente que entre as crianças mais velhas já é mais comum uma explicação para dias e noites embasada no movimento de rotação da Terra, mesmo que o modelo utilizado ainda tenha lacunas conceituais. Esse autor também investigou as explicações infantis para a existência de fases lunares e de estações. Nussbaum, por sua vez, percebe que a visão egocêntrica de Terra plana predomina entre as crianças mais jovens, enquanto a visão de Terra esférica - embora em alguns níveis careça de conexões com a gravidade - é mais frequente entre as crianças mais velhas (pré-adolescentes). Essa hipótese é exemplificada através do caso de uma criança que já

sabia que a Terra é esférica, mas que só admitia que fosse possível viver na sua metade superior, e dentro dela. Não aceitava ainda a idéia de que se vive sobre a superfície da Terra, em qualquer posição, devido a sua atração gravitacional (1979, p.89). Portanto, essa é uma noção ainda embasada em um referencial topocêntrico, caracterizado pela noção de que nós só podemos estar em um plano. Para Nussbaum, uma concepção como essa “representa uma construção relativamente elaborada que a própria criança produziu ao tentar acomodar sua estrutura cognitiva à informação científica que recebeu” (1979, p.89).

No contexto brasileiro, o estudo de Nardi e Carvalho (1996), desenvolvido com estudantes de ensino fundamental e médio, aponta resultados muito similares aos de Nussbaum. A noção mais ingênua, de Terra plana com um céu paralelo ao chão, foi manifestada por 10 crianças, dentre 45, na faixa etária dos 6-8 anos, predominando nessa faixa (Nardi e Carvalho, 1996, p.135). Já a noção mais avançada, no outro extremo, de uma Terra esférica e fonte de força gravitacional, foi apresentada, em sua maioria, por indivíduos com mais de 11 anos (ib., p.138).

Por outro lado, mesmo entre jovens e adultos que já haviam tido contato com este tema na escola, e entre os quais a visão de Terra esférica é predominante, permanecia uma certa dificuldade de integrar a concepção de Terra esférica com a concepção cotidiana marcadamente plana, conforme constatado por Harres e Kruger (2000), ao implementarem uma proposta construtivista de ensino acerca do tema entre futuros professores. Os autores acreditam na existência de um processo em que “a aprendizagem de uma nova noção é um processo gradual no qual esta noção vai sendo parcialmente integrada a partir de sucessivas aproximações em direção à concepção mais avançada” (2000, p.9).

Conclui-se, portanto, que um dos pontos convergentes entre pesquisas envolvendo ensino de astronomia, é que, em geral, as concepções envolvendo a forma da Terra e sua gravidade junto com os fenômenos astronômicos simples, tanto de crianças e adolescentes quanto de adultos, geralmente são diversas daquelas cientificamente aceitas, embora as concepções espontâneas tenham um declínio com a idade. A análise desse fato se desdobra em algumas reflexões. Uma delas é a sugestão de que é necessário conhecer os processos mentais, e como evoluem as idéias com as quais o sujeito aprende e se desenvolve. Outra dimensão dessa reflexão é didática, pois envolve aspectos relacionados ao processo ensino-aprendizagem. Se soubermos que as idéias evoluem de forma gradual, que é importante contrastar e comparar concepções e idéias diferentes, mesmo aquelas já superadas histórica e cientificamente, para que se tenha condições

mais favoráveis à aprendizagem, então, um desdobramento importante será a discussão de como propor situações de ensino e aprendizagem em astronomia que sejam consistentes com esses resultados.

Portanto, trabalhar didaticamente para promover aprendizagem sobre temas de astronomia nos reporta, novamente, à formação de professores, que é o contexto do nosso trabalho. Primeiro, porque o professor é o sujeito responsável que vai desencadear um processo de ensino-aprendizagem durante o qual se espera que os alunos evoluam conceitualmente. Para isso, o professor deve estar preparado do ponto de vista metodológico para planejar, implementar e desenvolver estratégias de ensino reais que possam cumprir essa função de mexer com a estrutura cognitiva do aluno e promover sua evolução. Isto é, ele deve ser capaz de poder selecionar e propor atividades potencialmente significativas, que efetivamente ajudem o aluno a incorporar novos significados e novos conceitos à sua estrutura mental. Em segundo lugar, o sujeito professor deve conhecer os temas e conteúdos que vai desenvolver. Sua função, portanto, exige conhecimento pedagógico do conteúdo, atualmente considerada uma competência fundamental entre os professores. No entanto, se isso é o que se espera dos professores, devemos supor que os processos de formação tenham como um dos focos a construção dessa competência, quer em seu currículo, quer na forma como o implementam.

É reconhecido, atualmente, que o conhecimento pedagógico do conteúdo representa uma atitude e uma competência desejáveis no perfil dos professores. Tanto as pesquisas nessa área quanto os cursos de formação têm debatido diretrizes e maneiras de formar professores que tenham domínio conceitual e metodológico da matéria de ensino. Nos cursos de formação, isso se concretiza através da inserção de mais disciplinas de natureza didático-epistemológica nos currículos e através da exigência de maior número de horas dedicadas a disciplinas de natureza teórico-prática, inclusive estágios. A experiência relatada no artigo de Navarrete (1998) pode contribuir com algumas possibilidades nesse sentido. Esse autor trabalhou com professores de um curso universitário de formação para ensino primário, na Espanha. Investigou concepções sobre astronomia entre os futuros professores e desenvolveu uma proposta de ensino de tópicos de astronomia na disciplina de Didática de Ciências da Natureza, sob um enfoque investigativo-construtivo. Nessa proposta, o autor trabalhou o conteúdo específico de astronomia e também qual seria o conhecimento pedagógico necessário para desenvolver este tema enquanto professores. O trabalho foi concebido para ser um espaço em que os futuros professores

pudessem discutir o processo ensino-aprendizagem a partir de uma experiência real. Segundo o autor, a escolha de temas de astronomia foi fundamentada em aspectos como o seu potencial interdisciplinar, e a pertinência do tema para discutir a dimensão epistemológica do ensino, uma vez que a astronomia é rica em exemplos históricos, de fácil acessibilidade, sobre a evolução das idéias sobre o Cosmos e a Terra (Navarrete, 1998, p.10).

Metodologicamente, os temas de astronomia foram abordados a partir de uma perspectiva construtivista, com muitas situações de contraste e conflito de significados, nas quais alunos com modelos teóricos distintos sobre determinado fenômeno faziam discussões entre si e tinham que construir um modelo 'comum' ao grupo, sempre partindo de aspectos observacionais (confrontação com a realidade). Também houve a discussão, de caráter mais filosófico, sobre o que é ensinar ciências, como se faz isso e como se avalia no ensino primário. As questões propostas para discussão de conteúdo eram relacionadas ao fenômeno das estações do ano e à órbita da Terra. Navarrete encontrou que a concepção predominante entre os futuros professores é a do modelo que utiliza a distância Terra-Sol como a explicação física das estações. Assinala também que esse conceito tem uma função estruturante, já que todas as demais explicações dadas estão explícita ou implicitamente ligadas a esse argumento (1998, p.14). Essa concepção alternativa constituiria, assim, o principal obstáculo epistemológico a ser superado, através das vivências em aula, para que se torne possível evoluir na construção de um modelo coerente com a realidade. Comparando esse resultado particular com o de outros estudos, percebemos que o modelo alternativo da distância Terra-Sol, com algumas variantes, é o modelo teórico utilizado com mais frequência para explicar as estações, tanto entre crianças (Sharp, 1996; Baxter, 1989) quanto em adultos (Parker e Heywood, 1998; Barrabín, 1995; Camino, 1995).

Em nossa opinião, uma das principais contribuições desse trabalho é a sua opção de dar oportunidade para que os futuros professores vivenciem, durante sua formação, os processos de aprendizagem diferenciados daqueles tradicionais, como aqueles que se espera que eles adotem com seus futuros alunos. A estratégia geral adotada, envolvendo o questionamento dos modelos usados por professores estudantes e sua comparação com outros modelos e aspectos da realidade, também é uma contribuição importante. Ela permitiu que os futuros professores tomassem consciência de suas concepções e percebessem a necessidade de incorporar novos aspectos aos seus modelos teóricos explicativos. Por exemplo, a discussão de que as estações são contrárias entre os hemisférios Norte e Sul levantou a discussão sobre a inadequação do modelo da distância

para esse fenômeno e desafiou o grupo a buscar novos conceitos para agregar e/ou alterar seus modelos.

A proposta implementada mostrou resultados favoráveis à opção por cursos e propostas de cunho construtivista, pois (a) contribuiu para que os futuros professores tomassem consciência da deficiência de suas concepções; (b) oportunizou discussões sobre quais os principais obstáculos epistemológicos a serem superados para avançar quanto a um modelo Sol-Terra-Lua adequado, (c) a experiência foi muito bem aceita e motivou um alto grau de envolvimento dos participantes, e (d) quem ainda estava em um nível mais ingênuo de conhecimento pôde avançar e reformular seus conceitos e, ao mesmo tempo, aqueles que já possuíam idéias coerentes com o modelo científico puderam aprofundar seus conceitos e avançar quanto a outros aspectos relacionados ao modelo Sol-Terra-Lua (Navarrete, 1998, p.16).

Outro trabalho do qual destacamos alguns aspectos para análise é o estudo de Camino (1995), desenvolvido com professores na Argentina. Ao implementar uma proposta de ensino de temas de astronomia, optou por um enfoque construtivista. Seu objetivo foi avaliar a eficácia dessa estratégia na evolução conceitual dos professores. Utilizou-se de estratégias variadas que proporcionaram o envolvimento e a ação-reflexão dos professores-estudantes sobre a eficiência dessas estratégias na própria aprendizagem. Trabalhou com as concepções dos professores para os fenômenos dos dias e noites, das estações do ano e das fases lunares.

Os resultados desse trabalho confirmam a idéia já apresentada de que o conhecimento dos professores sobre astronomia está aquém do nível desejável. Camino encontrou categorias de pensamento que vão desde noções ingênuas até as noções mais próximas ao modelo coerente com a ciência atual. Antes de realizar a intervenção didática, encontrou-se que os níveis de pensamento alternativos estavam relacionados a um modelo geoestático e/ou geocêntrico, com a Terra dotada apenas de movimento de rotação, ou ainda, com os três astros (Sol-Terra-Lua) parados e apenas a rotação terrestre determinando as fases da Lua e os dias e noites (Camino, 1995, p.83). Também foi constatado que o fenômeno dos dias e das noites é o que melhor os professores compreendiam mesmo antes da intervenção didática, visto que, no pré-teste aplicado, 72% utilizavam o modelo considerado correto e esse índice se manteve no pós-teste (ib., p.90). Por outro lado, para as estações do ano, o modelo correto aparece em apenas 7% das respostas no pré-teste e, depois da instrução, aparece em 66% das respostas dadas pelos professores (ib., p.90). Segundo Camino, os resultados encontrados quanto ao conhecimento sobre fenômenos como dias

e noites, estações, fases da Lua, entre os professores, são demonstrativos de como estes temas estavam sendo trabalhados no nível primário, pois a amostra do estudo envolveu 15% dos professores de uma província argentina (Esquel), e os professores estariam multiplicando essas idéias (1995, p.95).

Um obstáculo epistemológico encontrado no estudo diz respeito ao fato de que a noção de movimento não estava bem compreendida, e não era considerada comum a tudo que compõe o universo. Nas explicações dadas pelos professores, geralmente um astro ou mais, dentre os envolvidos, estavam em repouso. Essa incompreensão do movimento como uma condição natural para os corpos influencia nos modelos propostos pelos professores (Camino, 1995, p.86). Outro obstáculo para a compreensão de fenômenos astronômicos está ligado à dificuldade de analisar tais fenômenos a partir de uma perspectiva externa ao sistema Sol-Terra, já que propomos explicações a partir de nossa perspectiva topocêntrica (ib, p.87), que deve ser superada ou, pelo menos, contrastada com uma nova perspectiva. O autor indica, ainda, que os conceitos de energia, calor e temperatura formam um núcleo conceitual que, ao ser trabalhado, ajudaria a compreender com mais profundidade aspectos relacionados às estações do ano. Na proposta desenvolvida, foi analisado um processo de transferência de energia entre um sistema a altas temperaturas (Sol) e um sistema de baixas temperaturas (Terra e outros planetas), além de se discutir a fusão nuclear. A forma da Terra surgiu como um conceito importante, já que a localização do observador interfere na média de energia distribuída sobre sua superfície e também determina aspectos como a altura do sol, a relação luz-escuridão dentro de um período de rotação e a temperatura média em cada época do ano (Camino, 1995, p.86).

Outro fator que poderia dificultar a aprendizagem de conceitos de astronomia está relacionado ao ritmo da vida moderna. Segundo Camino, (1995, p.88), a sociedade atual tem nos levado a perder nossa capacidade de observação, em particular do mundo físico em que vivemos. Nós concordamos. Enquanto antigamente a atitude de curiosidade, dúvida, e a própria necessidade de compreensão do mundo é que proporcionou o entendimento dos fenômenos naturais e o extraordinário avanço do conhecimento, atualmente, e em geral, os fenômenos naturais já não nos motivam, sejamos adultos ou crianças. Absorvemos e utilizamos cada vez mais tecnologias, há cada vez mais informação ao nosso dispor, e isso, por um lado, desfavorece as atitudes de busca, curiosidade e por outro, nos deixa em uma posição mais cômoda de apenas receber e/ou utilizar os benefícios gerados pelo avanço incessante do conhecimento. Parece não

fazer muito sentido, para muitas pessoas, na contemporaneidade, saber a origem dos dias e das noites, ter a noção de que a Lua não está no céu somente à noite, relacionar o ciclo desse astro, ou o movimento da Terra em torno do Sol, com a mesma interação fundamental cujas aplicações garantem a transmissão de dados em tempo real, as comunicações via satélite, a localização via GPS, a previsão do tempo para planejar o fim de semana...

Percebe-se, pelo envolvimento e a motivação manifestados pelos professores participantes e pelos resultados conceituais apresentados em relação aos fenômenos discutidos, que a proposta aplicada por Camino foi eficaz em contribuir para a compreensão e a evolução conceitual dos professores. Além disso, possibilitou que vivenciassem estratégias de aprendizagem diferenciadas, nas quais puderam questionar, errar, discutir, comparar, reformular, isto é, construir gradativamente seu conhecimento. Esse é o processo que se espera seja oportunizado aos alunos. Esse é o processo que os professores precisam dominar teórica e metodologicamente. Ainda que a mudança conceitual tenha se mostrado lenta, tenha acontecido em diferentes níveis para diferentes sujeitos, os resultados revelados sugerem que o caminho para a formação de professores, e de sujeitos em geral, é esse, que não nega o conhecimento anterior e trabalha a partir dele.

Outro trabalho desenvolvido com professores, cujo foco conceitual foi os fenômenos dos dias e das noites, das estações do ano e das fases da Lua, foi o estudo de Parker e Heywood (1998), desenvolvido na Inglaterra e no País de Gales. Os autores trabalharam com dois grupos em formação inicial, que forma professores para o *Key-Stage 2* (KS-2), do curso de bacharelado em Educação, e com um grupo de professores que já atuava no nível primário. A opção por professores que estavam sendo habilitados para ou atuando nesse nível de ensino (KS-2) foi feita porque, no Reino Unido, a partir da implantação do *National Curriculum*, o NC, os professores desse nível deveriam trabalhar o núcleo temático *Earth and Beyond*. Portanto, o objetivo foi tanto analisar se os professores, em formação e em atuação, estavam preparados para incluir esse tema às suas aulas, como também avaliar o impacto de uma proposta de ensino de cunho construtivista - que foi aplicada entre os professores - sobre o conhecimento dos mesmos. Como resultado geral, os autores notaram que as concepções dos professores investigados têm muito em comum com aquelas identificadas entre crianças (Parker e Heywood, 1998, p.506). Tais concepções, assim, demonstraram que há considerável disparidade entre a compreensão de alguns conceitos científicos dos professores de primário e a exigência conceitual que lhes foi proposta com a

implantação do NC (ib, p.504). Geralmente, os professores tinham a noção de movimentos orbitais e interações, mas adotavam desde referenciais geocêntricos/geoestáticos até o heliocêntrico. As categorias gerais de pensamento oscilavam desde a visão científica até visões alternativas, e uma visão que os autores denominaram indeterminada, pela dificuldade de reconhecer a linha de raciocínio adotada ou pela confusão no uso de conceitos. Para o fenômeno das estações, constataram que o modelo da distância foi o mais utilizado, mas encontraram também um modelo que denominaram '*wobbly earth model*' (Parker e Heywood, 1998, p.510), no qual o eixo terrestre oscilaria, apontando para o Sol nos verões e na direção oposta nos invernos.

Para os autores, os resultados encontrados, similares aos de outros trabalhos, apontam para o debate sobre como melhor desenvolver o conhecimento e a compreensão do conteúdo pelos professores, já que não basta que saibam transferir conhecimento, mas devem compreendê-lo em profundidade (Parker e Heywood, 1998, p.504). Nessa perspectiva, os professores precisam não apenas do conhecimento detalhado da(s) matéria(s) de ensino, mas também de um conhecimento profundo sobre como melhor representar e apresentar esse conteúdo na sala de aula. Denominam essa característica desejável no perfil do professor de conhecimento pedagógico do conteúdo (ib, p.504). Outros trabalhos já apontaram que os currículos de formação de professores devem contribuir para a construção dessa característica no perfil profissional (Navarrete, 1998; Camino, 1995; Martinez-Sebastià, 2004).

No nosso entender, é indiscutível que o professor deva construir ambas as competências durante sua formação e sua atuação. Porém, é preciso também o cuidado para que as iniciativas tomadas sejam organizadas de modo a somar esforços, evitando dicotomias e a falta de sintonia na implementação de disciplinas que formam pedagogicamente e as que formam cientificamente. Nos cursos de formação em nível médio e superior, ainda é muito comum que as diferentes disciplinas dos currículos se destinem exclusivamente ao estudo de matéria ou ao estudo de estratégias, além de haver um certo anacronismo na sua oferta durante os cursos (Moreira e Ostermann, 1999). Avaliamos que a opção ideal seria que, na maioria das disciplinas, os professores tivessem a oportunidade tanto de estudar e debater os conteúdos específicos quanto de discutir as estratégias de aprendizagem propostas e refletir sobre sua provável contribuição em seu processo de aprendizagem. Embora essa sugestão possa parecer idealista, várias iniciativas

têm demonstrado que é possível aliar essas duas dimensões durante o processo ensino-aprendizagem (Harres, 2002; Harres e Kruger, 2000; Camino, 1995; Navarrete, 1998).

Parker e Heywood concluíram que a vivência de um processo de aprendizagem sob um enfoque histórico-construtivista contribuiu para que os estudantes aprendessem conceitos-chave de astronomia, ainda que em diferentes graus. Por outro lado, avaliaram que nem sempre os indivíduos conseguem dar sentido à visão científica, porque muitas vezes ela é conflitante com a sua experiência de mundo (1998, p.514). Um exemplo é a queda de um objeto, que se enquadra bem em um modelo de Terra plana; a informação, recebida culturalmente, de que a Terra é redonda, não altera a realidade física de um objeto caindo. De acordo com os autores, essa justaposição ou coexistência de modelos, que o indivíduo utiliza conforme o contexto, representa um obstáculo epistemológico que não pode ser ignorado nas aulas. A reinterpretção de fenômenos é a alternativa sugerida pelos autores. Ela envolve a ampliação ou a potencialização dos significados que o sujeito atribui aos conceitos e aos fenômenos, já que significados geralmente são contextuais. Em uma linha vygotskyana, o ensino escolar teria o papel de promover a mediação entre esses significados para proporcionar essa reinterpretção.

No contexto nacional, o trabalho de Lebouef e Borges (1999), com estudantes de ensino fundamental e médio, concorda com os resultados já discutidos. Apontam que é preciso estudar de modo mais aprofundado as relações entre os modelos de Terra e de gravidade para que o sujeito evolua de uma visão de Terra plana e limitada para a visão cósmica que inclui a percepção de que estamos presos a um planeta que flutua no espaço. O referido trabalho enfocou basicamente a interferência da idéia de interação à distância na construção de modelos de gravidade e de Terra pelos estudantes.

As idéias centrais, sobre as quais discorremos e apresentamos, apontaram-nos algumas diretrizes que assumimos como pressupostos teóricos e metodológicos do nosso trabalho. A título de conclusão, apontamos:

i) a necessidade de investigar e trabalhar com as concepções prévias dos estudantes para os fenômenos e conceitos em estudo, visto que a evolução conceitual é gradativa e acontece mediante a incorporação de novos significados àqueles que o sujeito já detém.

ii) Os sujeitos utilizam seus modelos teóricos contextualmente, isto é, modelos contraditórios geralmente são acionados conforme a exigência conceitual. Para o caso da Terra, há a dificuldade em ‘decidir’ em quais situações é exigido o conceito de Terra esférica para

explicar determinados fenômenos, enquanto outros são apropriadamente descritos a partir da perspectiva topocêntrica e plana.

iii) a pertinência de um enfoque histórico-epistemológico, que explicita o caráter evolutivo e transitório intrínseco ao conhecimento e ao pensamento humanos. Também o fato de que o desenvolvimento das idéias dos sujeitos sobre temas de astronomia e outros (forças) é similar à evolução histórica dessas idéias serve para apontar a importância de discutir modelos científicos já superados mas cuja importância foi inegável para o conhecimento chegar ao estágio atual.

iiii) Os modelos mentais que os estudantes apresentam para forma e gravidade da Terra estão conectados com as explicações dadas a outros fenômenos astronômicos. Isso implicaria em trabalhar esses temas anteriormente ao estudo dos modelos Sol-Terra-Lua e dos fenômenos astronômicos simples, o que ajudaria os estudantes a construir uma teoria lógica para o lugar da Terra no Universo.

iiiii) os professores devem estar preparados conceitual e metodologicamente para trabalhar aspectos relacionados ao foco conceitual de Terra cósmica. Isso implica perceberem as interações entre forma e gravidade e descreverem coerentemente os movimentos e os fenômenos decorrentes da situação cósmica de nossa casa espacial. Para isso, mostraram-se mais eficientes propostas de formação de cunho construtivista, que possibilitam a construção da competência denominada conhecimento pedagógico do conteúdo. A diretriz geral aponta que é importante que o professor vivencie experiências didáticas relativas a conteúdos em ciências, similares àquelas que se espera que ele desenvolva durante sua atuação profissional.

Em nosso trabalho, tivemos em consideração esses fatores ao elaborar materiais e sugestões de atividades voltadas ao objetivo de melhorar o conhecimento dos futuros professores sobre o lugar da Terra no Universo.

Capítulo 3: REFERENCIAL TEÓRICO

Consciente ou inconscientemente, a maioria dos professores está preocupada com a aprendizagem de seus alunos e que essa aprendizagem seja duradoura. Na linguagem atual, em alguma medida, queremos que ocorra uma aprendizagem significativa. Esse foi um conceito cunhado por Ausubel, mas diferentes teóricos da aprendizagem da linha construtivista o utilizam quando buscam descrever de que forma o sujeito aprende. Nossa opção preferencial, para apoiar teoricamente a elaboração e a implementação de uma proposta curricular de ensino de astronomia, está relacionada a Vygotsky e Ausubel. Optamos por Vygotsky como teórico principal, mas fazemos referência e uso, ainda que em menor grau, de conceitos da teoria de Ausubel. Por outro lado, queremos argumentar sobre como essas duas teorias têm aspectos muito apropriados para o ensino de astronomia.

Para Vygotsky, não há desenvolvimento cognitivo sem interação social; o desenvolvimento cognitivo do ser humano não pode ser entendido sem referência ao meio social em que ele vive. Compartilhamos dessa premissa. Do ponto de vista epistemológico, isso é consistente com a visão de Thomas Kuhn, por exemplo, para quem a ciência não está isolada dos demais fatores sociais. Pensamos que essa visão epistemológica é a que melhor reflete a evolução da ciência ao longo da história. E em particular, a história da astronomia constitui um exemplo emblemático de como as condições sociais, políticas, filosóficas e religiosas interferiram nas visões de mundo e nas teorias subjacentes que foram sendo formuladas ao longo do tempo. Embora entre os séculos V e IV a.C. tenha se iniciado um processo de distinção entre argumentos mais racionais e argumentos mais metafísicos, que compunham as teorias em discussão à época, sabemos que estes últimos ainda exerceram muita influência sobre as correntes de pensamento e os paradigmas vigentes mesmo em épocas mais recentes da história, tanto dentro da tradição da pesquisa científica quanto no ensino e na divulgação da ciência. Não há como negar que, juntamente com os dados experimentais, os pressupostos e as hipóteses teóricas, há valores subjetivos influenciando a produção de conhecimento científico. Por acreditarmos que os avanços científicos de uma sociedade não estão isolados do contexto social é que optamos pela abordagem de Vygotsky para nosso referencial teórico, a qual tem um caráter marcadamente social e interacionista.

Adotando a teoria de Vygotsky, estamos também adotando uma abordagem didática voltada à aprendizagem significativa. Esta é um processo que, por sua própria definição, envolve aquisição e construção de *significados*. Entretanto, trata-se de uma idéia compartilhada por outras teorias modernas de ensino. Tanto a teoria de Vygotsky quanto a de Ausubel discutem e têm uma grande preocupação de que a aprendizagem significativa seja um processo acessível a todos os cidadãos. Cada um desses pensadores propõe determinadas condições para que uma aprendizagem significativa ocorra no indivíduo. Ambos os autores compartilham da idéia de que a estrutura mental que o sujeito já detém tem papel fundamental na aprendizagem que ele vai ter. Ausubel se refere ao conhecimento prévio através do conceito de subsunçor. Segundo Ausubel, um subsunçor é um conceito para o qual o sujeito já atribui algum significado. Esse conceito vai servir de ponte para a incorporação de novos significados e de novos conceitos. A aprendizagem significativa se caracteriza tanto pela incorporação de significados compartilhados cientificamente aos conceitos já existentes, quanto pela incorporação de novos conceitos. De uma forma ou de outra, o sujeito modifica progressivamente sua estrutura cognitiva à medida que ele aprende. Para Vygotsky, este processo é representado pela *zona de desenvolvimento proximal* que desempenha essa função de intermediação entre o que é externo e o que é interno ao indivíduo e, portanto, entre o que é conhecimento novo e o que é conhecimento prévio.

Outro ponto em comum nessas duas teorias construtivistas é o papel decisivo da interação social no processo de aprendizagem e de desenvolvimento cognitivo dos sujeitos. Para Ausubel, o conhecimento prévio e o novo devem interagir. Como conseqüência, em sua prática o professor deveria saber identificar o que o estudante já sabe a fim de que sua proposta de ensino leve isso em conta como ponto de partida. Para Vygotsky, a interação tem um caráter marcadamente social e está diretamente ligada à aquisição de novos significados, que são contextuais. A *mediação*, segundo Vygotsky, é o processo através do qual o sujeito internaliza signos, ou seja, capta significados já compartilhados socialmente.

Passaremos, agora, a discorrer brevemente sobre os principais conceitos vygotskyanos e como eles estão relacionados com a abordagem que demos ao curso de astronomia que aplicamos.

A ênfase de Vygotsky é na importância da interação social. A asserção de que os processos mentais superiores do indivíduo têm origem em processos sociais é um dos pilares da

sua teoria. (Moreira, 1999, p.109). Para Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo se dá pela conversão de relações sociais em processos mentais, e essa conversão se dá pela mediação.

A mediação é outro conceito importante na teoria vygotskyana. A mediação entre o externo (relações sociais) e o interno (funções psicológicas) ao indivíduo ocorre através do uso de instrumentos e signos. Segundo Moreira, (1999, p.111), instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa; signo é algo que significa alguma outra coisa. Assim, o signo é fundamental para o sujeito apreender significados partilhados socialmente e elaborá-los internamente durante a interação social que vivencia.

Os significados, por sua vez, são construídos e compartilhados socialmente. As crianças e os adolescentes geralmente não crescem isolados. Nesse processo de interação, vão apreendendo significados e internalizando-os através de instrumentos e de signos e esse processo é fundamental para o desenvolvimento cognitivo. A física, e a astronomia, em particular, podem ser consideradas conjuntos de significados e de signos dos quais se espera que o aluno se aproprie. Tais significados, compartilhados na comunidade científica, são frutos das interações e da conversão destas em processos mentais superiores dos indivíduos. Os significados são contextuais, ou seja, o mesmo signo pode representar coisas diferentes conforme o contexto social. Um exemplo prático disso é o caso da forma da Terra. Nossa percepção topocêntrica, e cotidiana, é de que a Terra seja plana. Mesmo muitas situações discutidas em física são resolvidas corretamente usando-se um referencial plano, que pode ser a superfície terrestre em torno do lugar onde se está analisando um experimento. O significado de Terra plana, então, parece ser válido para descrever muitas situações, isto é, ele tem certa validade dentro de um determinado contexto. Por outro lado, no entanto, quando se torna necessário explicar conceitualmente porque a altura do Sol é diferente em diferentes lugares sobre a Terra, por exemplo, ou porque acontecem mudanças de temperatura de maior ou menor intensidade com o decorrer das estações, dependendo da latitude do local, ou, ainda, porque as constelações visíveis no céu noturno não são as mesmas nos hemisférios norte e sul, é necessário recorrer ao modelo de Terra esférica para explicar tais fenômenos de modo coerente.

Uma dificuldade conceitual que aparece na aprendizagem quando se usa a noção de corpo cósmico é o fato de os sujeitos parecerem ter dificuldade em optar ou decidir qual modelo eles devem utilizar conforme a situação a ser explicada. Enquanto professores, nosso papel é promover a interação e a integração desses significados por parte do estudante, ajudando-o a

discernir qual é o significado cientificamente aceito, ainda que outros significados ou interpretações para um conceito possam ter validade restrita em determinado contexto e sob determinadas circunstâncias.

A discussão histórica sobre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico constitui também um exemplo de que um modelo tem validade contextual. Medir posições sobre a superfície da Terra é uma atividade que pode ser feita tanto a partir de referenciais fixos na Terra (coordenadas horizontais) ou a partir de um referencial fixo no Sol (coordenadas equatoriais). Ptolomeu, ainda na Antiguidade, fez uma descrição muito precisa e detalhada do céu assumindo um modelo geocêntrico para o sistema solar. Todo o ciclo das grandes navegações aconteceu com os navegadores medindo latitudes a partir da altura das estrelas e do Sol, ou seja, fixando um referencial no horizonte do lugar. Esse exemplo histórico pode ser usado em sala de aula, e mesmo como tema para discussões, para mostrar que, apesar do modelo geocêntrico para o Sistema Solar não representar a realidade física, ele foi e ainda é muito útil no avanço do conhecimento acerca da extensão da própria Terra e também de outros aspectos relativos ao sistema solar. Porém, se quisermos compreender as interações da Terra com o Sol e com a Lua, e os fenômenos decorrentes dessas interações, como as fases de nosso satélite e as estações, e se quisermos situar nosso planeta no sistema solar, em nossa galáxia e no cosmo em geral, será preciso recorrer à utilização do modelo heliocêntrico para obtermos uma descrição mais correta dos fenômenos. A mediação que nos compete proporcionar é para que o sujeito perceba que pode haver modelos diferentes para descrever diferentes aspectos de uma mesma situação, embora apenas um deles, no caso da configuração do sistema solar, corresponda à realidade.

Na ótica de Vygotsky, a aprendizagem é necessária ao desenvolvimento do indivíduo (Moreira, 1999, p.119). O papel do professor deverá ser o de mediador na aquisição, por parte do estudante, de significados contextualmente aceitos, através de processos que priorizem a interação com outros aprendizes. Para Vygotsky, a aprendizagem está mais ligada às interações e às relações sociais do que ao produto de estágios de desenvolvimento neurocognitivos. O processo da mediação é que proporciona a internalização e a conversão das aprendizagens e das relações sociais em funções psicológicas. Incorporar novos significados àqueles que o aluno já possui implica, didaticamente, propor situações que desafiem os estudantes a pensar sobre seus conhecimentos, apontando pontos coerentes e outros contraditórios. Essa situação é denominada de *conflito cognitivo* - um conceito piagetiano – uma vez que o sujeito, neste caso, é desafiado a

explicitar e a comparar suas idéias com as dos outros e a identificar em quais aspectos seus conhecimentos falham em explicar determinados fenômenos ou situações. Segundo Vygotsky, essa aproximação e comparação de significados acontece em uma parte da estrutura cognitiva do sujeito denominada zona de desenvolvimento proximal, que é o equivalente ao conflito cognitivo piagetiano. Essa estrutura representa a diferença entre o que o aluno é capaz de fazer ou explicar *sozinho* e o que é capaz de fazer ou explicar com a ajuda de outros e/ou do professor. Nesta estrutura, e através das situações propostas de ensino-aprendizagem e de suas vivências, o sujeito internaliza significados e os incorpora à estrutura mental que já possui. Portanto, o termo mediação, para assinalar este processo, parece-nos bastante apropriado.

O equivalente ausubeliano para a zona de desenvolvimento proximal é o conceito de subsunçor. O conhecimento prévio do estudante é representado pelo conjunto de significados que ele já detém, aqueles conceitos para os quais ele já compartilhou significados e os quais ele internalizou. Aprender novos conceitos e incorporar novos significados aos antigos propiciará o desenvolvimento cognitivo. Essa interação entre o conhecimento prévio e o conhecimento a ser adquirido ocorre na zona de desenvolvimento proximal, e é desencadeada através das situações de aprendizagem que o professor propõe em sua prática educacional.

Alguns trabalhos que consultamos também adotam pressupostos das teorias de aprendizagem construtivistas de Ausubel e Vygotsky no contexto do ensino de astronomia. Segundo Sneider e Ohadi (1998), uma perspectiva histórico-construtivista exige que se leve em conta tanto o ponto de vista histórico quanto o psicológico. Em nível psicológico, os conceitos de forma da Terra e gravidade devem ser revisitados em níveis escolares mais avançados, quando as habilidades espaciais das crianças já estão mais maduras. Por outro lado, do ponto de vista histórico, os estudantes deveriam ter contato, além das teorias atuais, com as noções primordiais de Terra plana a fim de que possam superar suas próprias noções alternativas e construir um modelo mais adequado para a Terra. (1998, p.269). Essa proposição traz implícitas as noções de mediação e de reestruturação gradual dos conceitos que o sujeito já possui. Modificar os conceitos subsunçores, em uma perspectiva ausubeliana, ou, em uma perspectiva vygotskyana, incorporar novos significados, promovendo mediação entre o que o sujeito já sabe e o que é capaz de saber, são dois processos complexos, que demandam tempo. Portanto, é pertinente a retomada de conceitos em níveis e graus de exigência diferentes ao longo da vida escolar dos estudantes (Sneider e Ohadi, 1998, p.283). No caso da astronomia, por exemplo, geralmente os

estudantes já chegam às séries finais do ensino fundamental, ou no ensino médio, com a informação de que a Terra é redonda. No entanto, o conceito tem que ser revisitado porque ainda carece de conexões importantes com a gravidade e porque é necessário à explicação de fenômenos astronômicos com um grau de complexidade um pouco maior do que apenas saber que a Terra é esférica.

Em trabalho de 1989, no qual investigou concepções infantis sobre dias e noites, fases lunares e estações, Baxter concluiu que as crianças constroem significados e idéias de acordo com o contexto em que estão inseridas, antes mesmo de qualquer processo de educação formal. Sharp (1996), também conclui que os resultados de seu trabalho e de outros na área sugerem que as idéias das crianças são fortemente influenciadas por fontes primárias e secundárias de informação. Entre estas formas, estariam certas formas de transmissão sociocultural. Para exemplificar, esse autor cita o caso de crianças nepalesas, cuja cultura tem pouca influência da cultura ocidental, que ainda assumiam um modelo primitivo da Terra como um elefante assentado sobre uma grande tartaruga. (Sharp, 1996, p.687). Segundo o autor, as noções das crianças e o quanto elas tem de científico depende de quanto cada uma tenha apreendido, bem como de até que ponto elas conseguem utilizar, em seus modelos, detalhes relacionados à forma da Terra, à existência, à localização e à orientação do eixo terrestre, à rotação do planeta. Para Sharp, estes são conceitos habilitadores que a criança deve ter desenvolvido para poder superar visões mais egocêntricas de mundo na direção da visão científica (1996, p.688). Ele desenvolveu entrevistas clínicas com crianças para investigar suas concepções sobre a forma da Terra. Descobriu que, entre elas, havia uma variação do conhecimento e da compreensão quanto à existência, aos efeitos e às implicações da gravidade (Sharp, 1996, p.692). Por outro lado, as crianças cujas respostas foram enquadradas na categoria científica não detinham, ainda, um apanhado completo dos conceitos habilitadores exigidos, mas demonstravam uma visão geral dos eventos em discussão na pesquisa (ib, p.704).

Navarrete (1998), em seu estudo com professores, também referencia várias vezes a importância do debate e da troca de idéias, o papel mediador do professor, para que os sujeitos possam comparar e contrastar significados e incorporá-los à sua estrutura mental, modificando-a. Seria a modificação e potencialização dos subsunçores, ou ainda, a incorporação de novos significados, na zona de desenvolvimento proximal, através de instrumentos e signos. Camino (1995), Navarrete (1998), Parker e Heywood (1998), Martinez-Sebastià (2004), são todos

defensores da idéia vygotskyana de que o conhecimento evolui através das relações e de interesses sociais e, portanto, assumem um enfoque histórico-epistemológico ao desenvolver propostas de ensino de astronomia que explicitam e discutem aspectos históricos. Todos eles planejaram e implementaram propostas de ensino em astronomia através de estratégias coerentes com os pressupostos da interação, da mediação, do compartilhamento de significados, visando melhorar a aprendizagem e o conhecimento dos professores de uma maneira mais eficaz do que as formas convencionais.

No trabalho de Parker e Heywood (1998), desenvolvido com professores, os resultados demonstraram que o conhecimento adquirido pelos envolvidos atingiu níveis distintos; para alguns, houve uma reestruturação radical do pensamento; para outros, houve uma integração de novos significados aos antigos. Esse fato provavelmente está relacionado à estrutura cognitiva anterior de cada um; a interação de novos conhecimentos com os prévios, na zona de desenvolvimento proximal, não foi a mesma para todos, porque suas vivências e aprendizagens anteriores também não são as mesmas. Os autores destacam que, em nível de ensino, uma implicação desse processo mental de mudar idéias de uma perspectiva alternativa para uma científica é a necessidade de desenvolver os conceitos adequados para conectar as idéias cientificamente aceitas com as estruturas conceituais subjacentes do indivíduo. As diferentes estratégias utilizadas pelos autores junto com os professores foram concebidas para cumprir a função de contrapor significados, comparar modelos, de modo que fossem mediadoras entre o que os sujeitos já sabiam e o que tinham que aprender para melhorar seu conhecimento. Para os professores, foi importante que ficasse explícito quais foram os aspectos principais que contribuíram na compreensão dos conteúdos durante sua própria aprendizagem, para que durante sua atuação eles pudessem ficar atentos a esses aspectos relevantes à aprendizagem.

Segundo Ausubel, esses construtos anteriores são os conceitos subsunçores. Se eles não são detectados na estrutura mental do sujeito, deve-se adotar estratégias para desenvolvê-los; entre elas, Ausubel cita os organizadores prévios, que é um recurso cuja função é apresentar os conceitos que serão trabalhados para contribuir na formação de conceitos ou na reestruturação de conceitos preexistentes. Um organizador prévio pode ser um mapa conceitual, recurso que efetivamente utilizamos em nosso trabalho.

Ensinar, e aprender significativamente, portanto, implica reestruturar e re-planejar as ações que desenvolvemos em nossa aula. Assumir um caráter construtivista, gradual e complexo

da aprendizagem, que lhe é intrínseco, significa avaliar e optar por maneiras práticas de efetivar uma aprendizagem mais eficaz e duradoura. Significa reconhecer e aceitar que nem todos os sujeitos atingirão o mesmo nível de conhecimento, porque muito provavelmente não partiram dos mesmos estágios de pensamento e não tinham os mesmos conceitos subsunçores, ou os mesmos significados para os conceitos em estudo. Significa ser capaz de inferir, através de diferentes estratégias de avaliação, o quanto cada um avançou no processo que proporcionamos e avaliar segundo essa perspectiva.

Ensinar de modo eficiente, no contexto atual, com tantas coisas competindo com nosso trabalho e com as possibilidades que as escolas oferecem, pressupõe que tenhamos em conta os aspectos cognitivos e psicológicos envolvidos. Zelar por uma aprendizagem significativa, então, se traduz em várias ações práticas que temos que incorporar ao cotidiano do nosso trabalho. Entre elas:

- i) Diagnosticar e planejar a partir do conhecimento que os estudantes já detêm;
- ii) Promover muitas discussões e debates para explicitar os significados que os estudantes atribuem aos conceitos em estudo. Isso pressupõe realizar atividades em grupo, pois acreditamos que a interação e a troca entre os pares efetivamente contribui para a aprendizagem.
- iii) Propor situações e atividades em que os estudantes possam utilizar seus modelos e perceber o que ainda não conseguem explicar. A idéia é explicitar a necessidade de aprender mais, de melhorar seus modelos, para explicar de forma mais satisfatória aspectos que estão em discussão.
- iv) Selecionar bem e diversificar as atividades propostas, pois elas têm que ser potencialmente significativas e motivadoras. Ninguém motiva ninguém, pois a motivação é um processo interno, mas as condições oferecidas podem fazer a diferença para muitos estudantes.
- v) Coletar e analisar aspectos da realidade para discuti-los sob a ótica do conhecimento que o sujeito já possui e sob a ótica do modelo científico que se quer ensinar, ou melhor, que se quer seja aprendido. Para isso, a astronomia é bastante apropriada, pois se pode fazer observações simples no dia-a-dia e desenvolver questionamentos a partir delas.

Em nosso curso de astronomia, procuramos implementar, através de diferentes estratégias e atividades, as idéias e conceitos relacionados à evolução do processo ensino-aprendizagem aqui apresentados, inspirados principalmente em Vygotsky e Ausubel e em experiências concretas de ensino de astronomia que foram desenvolvidas segundo essa perspectiva. Em particular, assumimos, teórica e metodologicamente, a premissa proposta por Barrabín (1995), de que o

conceito de Terra como corpo cósmico é um conceito subsunçor necessário à estrutura cognitiva dos estudantes para que estes aprendam outros aspectos do modelo Sol-Terra (fenômenos astronômicos, interações gravitacionais, movimentos, etc). Isto é, uma visão de Terra cósmica, esférica e fonte de gravidade, é um conceito estruturante, no qual outros conceitos possam ser ancorados para enriquecer, modificar ou aproximar o modelo teórico dos estudantes, relativamente ao modelo Sol-Terra, do modelo cientificamente aceito.

O texto de apoio que elaboramos e aplicamos foi embasado em um enfoque histórico-construtivista, pois desenvolvemos idéias e aspectos ligados à evolução do conhecimento nas duas unidades didáticas que aplicamos. Também permitiu que os estudantes estabelecessem paralelos entre suas idéias e as idéias científicas que já vigoraram ao longo da história da ciência. Leituras complementares e dois seminários que apresentamos durante o curso também tiveram o intuito de apresentar as correlações entre as idéias atuais da ciência com as idéias de outras épocas históricas. As atividades e materiais desenvolvidos foram selecionados para contribuir no diagnóstico do conhecimento prévio dos estudantes e para favorecer o contraste e o debate de idéias e de modelos, visando a evolução do conhecimento de cada um rumo a uma visão científica, que é o nível de conhecimento desejável. Assim, procuramos dar forma e praticidade aos referentes teóricos de Vygotsky e Ausubel, entre eles: (a) a mediação entre o que já se sabe e o que se pode (e quer) aprender, (b) o compartilhamento de significados, (c) o caráter contextual desses significados, (d) a potencialização e reestruturação dos conceitos subsunçores, (e) atividades com potencial motivador, visando contribuir com a aprendizagem significativa.

Capítulo 4: METODOLOGIA

4.1 Elaboração dos materiais

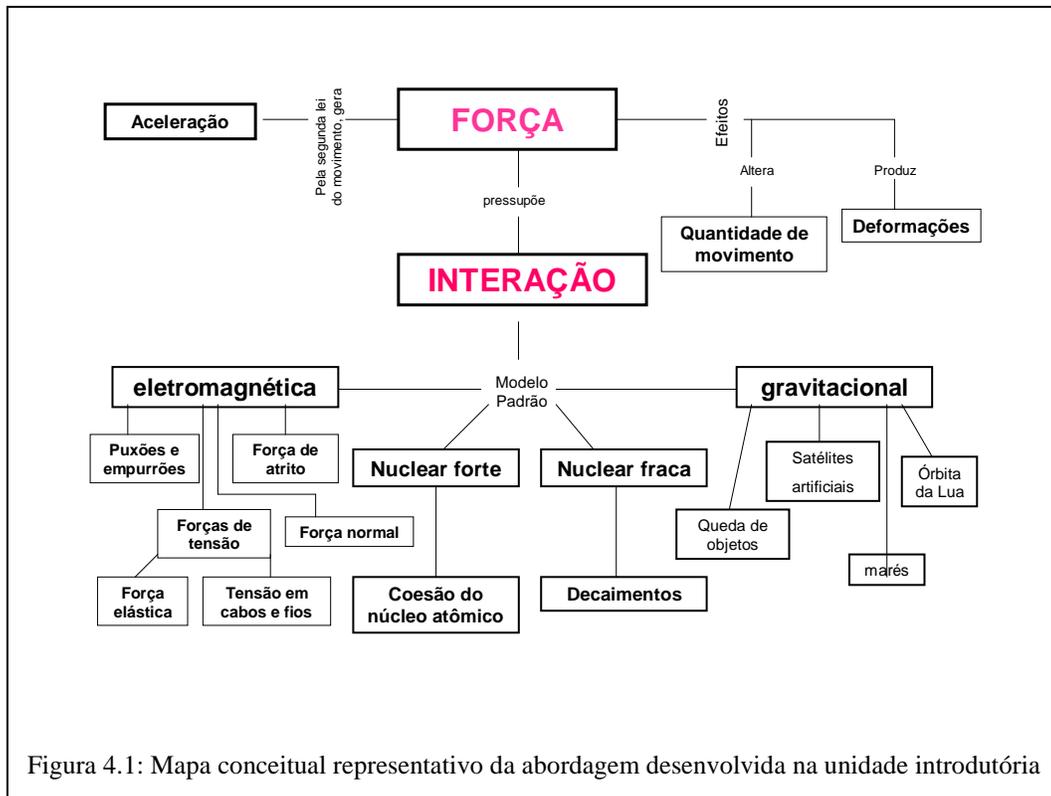
Nosso projeto de dissertação envolveu a elaboração e a aplicação de um curso introdutório de astronomia para estudantes de curso normal em formação inicial de nível médio. Nosso produto é um Texto de Apoio organizado em duas unidades, uma vez que o curso que aplicamos foi organizado também em duas unidades didáticas. A primeira parte do texto – *Leis de Newton para o movimento* - consta do Apêndice 1. A segunda parte, intitulada *A Terra como corpo cósmico*, consta do Apêndice 2.

Dedicamos o segundo semestre de 2005 e o primeiro semestre de 2006 à elaboração e à revisão do Texto de Apoio, bem como à seleção e à elaboração de atividades que seriam aplicadas durante nosso estágio. Consultamos diversas referências bibliográficas, principalmente artigos publicados e livros nacionais, didáticos e paradidáticos. Sempre que utilizamos idéias retiradas desses materiais, ou quando realizamos transcrições de textos, fizemos a devida referência aos autores dos mesmos. Também selecionamos alguns *applets* e vídeos disponíveis na *web*, os quais utilizamos durante nosso estágio. Eles serão citados oportunamente.

Utilizamos pré-testes para analisar as concepções iniciais dos estudantes nas duas unidades do curso. O pré-teste sobre força e movimento consta do Anexo 2. Para elaborar esse instrumento, selecionamos questões já disponíveis na literatura e que já têm amplo uso em nível de ensino para tratar desses temas e para investigar essas concepções. Em especial, nos inspiramos em trabalhos de Silveira, Axt e Moreira (1986) e de Moraes e Moraes (2000). Na unidade 2, utilizamos um pré-teste também elaborado a partir de questões adaptadas de estudos já publicados, como o de Nussbaum (1979), e o de Sneider e Ohadi (1998). Nesse instrumento, exploramos essencialmente questões ligadas à forma da Terra e à sua gravidade. Esse pré-teste consta do Anexo 3.

A primeira parte do nosso texto de apoio abordou principalmente as Leis de Newton para o movimento, com uma ênfase qualitativa. Trabalhamos a noção de força como parte de uma *interação*, apresentamos as três leis de Newton e relacionamos a discussão sobre movimentos e

suas causas com as concepções históricas acerca do tema e com as visões de universo que predominavam nesses períodos. O mapa conceitual apresentado na Figura 4.1 dá uma visão geral do enfoque que desenvolvemos nessa unidade. Esse mapa também foi apresentado aos estudantes, no início da aplicação da unidade 1, como um organizador prévio que deu à turma uma noção geral dos conceitos envolvidos.



A segunda parte do texto de apoio explorou desde aspectos relacionados à conexão entre a forma da Terra e sua gravidade, até a ocorrência dos fenômenos astronômicos mais comuns (dias e noites, estações, fases da Lua) e sua correlação com os movimentos da Terra. O objetivo geral foi a construção de um modelo lógico e coerente com a visão científica contemporânea acerca do lugar da Terra no universo. No texto, foram também discutidos alguns aspectos observacionais e fenômenos relacionados às mudanças de estação.

A forma da Terra é tratada como um conceito estruturante, pois o tópico é necessário para, mais tarde, poder-se explicar diferentes aspectos e fenômenos que seriam apresentados no texto e discutidos depois em aula. Conforme já mencionamos, optamos por esse enfoque devido ao fato de que a compreensão do conceito de gravidade (interação) e a noção da forma da Terra são

fundamentais para a descrição e a compreensão de muitos fenômenos astronômicos. Segundo Barrabín (1995), o conceito de corpo cósmico é um subsunção necessário para ancorar aspectos importantes do modelo Sol-Terra-Lua e, portanto, para poder compreender, de maneira racional e científica, os eventos astronômicos com os quais convivemos cotidianamente. Parker e Heywood (1998) assinalam também que a construção e a apropriação de um modelo causal adequado para eventos astronômicos, pelos estudantes, exigem conhecimentos mínimos acerca da Terra (forma, movimento de rotação, movimento orbital, inclinação do eixo de rotação). Os autores nacionais Lebouef e Borges (1999) também defendem a idéia de que a compreensão acerca da gravidade terrestre é anterior à compreensão das demais interações da Terra. O mapa conceitual da figura 4.2 (na página a seguir) foi elaborado com a finalidade de explicitar visualmente a abordagem que adotamos para a elaboração do texto de apoio e para o desenvolvimento do nosso trabalho junto aos estudantes. O mesmo esquematiza as relações entre os conceitos básicos para a construção de um modelo de Terra de acordo com a visão científica e os eventos e fenômenos cotidianos com os quais temos familiaridade, mas somos desafiados a explicar a partir desse ponto de vista.

Também elaboramos o que denominamos de textos complementares, com objetivo de apresentar curiosidades relacionadas às temáticas estudadas, de focar aspectos interdisciplinares e, ainda, de aprofundar aspectos ligados à Física que não abordamos diretamente na aplicação das aulas. São quatro textos complementares, que constam do Apêndice 3: i) Texto complementar 1: *A Astronomia e as Navegações*; ii) Texto complementar 2: *O difícil problema de medir a longitude*; iii) Texto complementar 3: *Alguns fenômenos com origem nas interações gravitacionais* e iiiii) Texto complementar 4: *Efeitos da rotação terrestre através de um caso concreto: a viagem de Amir Klink*.

Na segunda unidade, elaboramos guias de atividades (ver Apêndices de 4 a 8). Nesses guias, propusemos atividades teóricas, práticas, demonstrações e atividades interativas envolvendo *applets* disponíveis na *web* ou *sites* com temas relacionados ao curso. Esses guias foram utilizados de diferentes maneiras, como relataremos adiante.

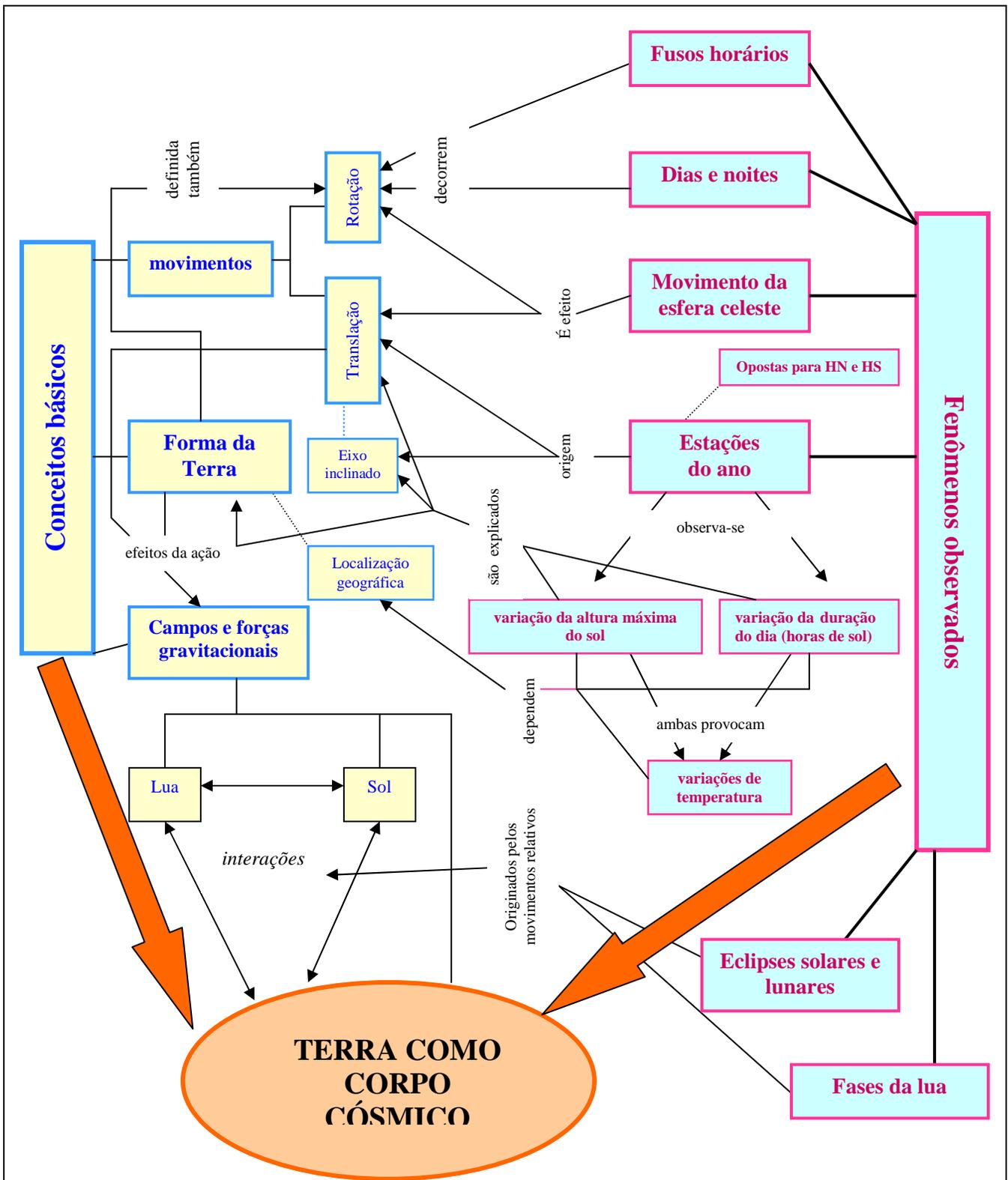


Figura 4.2: Mapa conceitual representativo das relações conceituais necessárias para uma visão de Terra cósmica.

4.2 Aplicação do material sob a forma de estágio supervisionado

Em nosso estágio curricular, que envolveu 56 horas-aula, trabalhamos com o texto de apoio, o qual foi disponibilizado tanto na forma impressa quanto na forma eletrônica⁴. Utilizamos 16 horas-aula no desenvolvimento de atividades relacionadas à unidade didática introdutória, durante o mês de outubro de 2006. À unidade 2, dedicamos 40 horas-aula, desde o final de outubro de 2006 até início de janeiro de 2007, quando encerrou o ano letivo no Colégio Estadual Presidente Castelo Branco.

4.2.1 Desenvolvimento da unidade 1 – força e movimento

Cronologicamente, trabalhamos no desenvolvimento da unidade 1 de nosso curso durante o mês de outubro de 2006. Não tivemos a pretensão de aprofundar o tema, mas apenas trabalhar noções básicas relacionadas às leis de Newton e que posteriormente seriam úteis na discussão dos tópicos de astronomia que desenvolvemos na unidade 2. Antes de iniciarmos a aplicação desse trabalho, aplicamos o pré-teste (Anexo 2). Para iniciar o estudo sobre forças, trabalhamos com o mapa conceitual da figura 4.1 e solicitamos aos alunos uma leitura parcial do texto de apoio. A parte introdutória do texto, que aborda aspectos históricos relacionados às concepções de força e movimento foi proposta como leitura extra-classe, preparatória à realização de um seminário livre de discussão que foi realizado em aula com toda a turma. Posteriormente, introduzimos a 1ª lei de Newton e discutimos algumas de suas aplicações e implicações, com o intuito de contrastar com a tendência dominante de raciocínio dos alunos em supor que os corpos param quando cessa a força exercida. Realizamos diversas atividades práticas simples (Apêndice 9) para demonstrar e discutir a possibilidade de movimento em uma direção na qual não há uma componente de força exercida (ver atividade 2 do Apêndice 9). A seguir, apresentamos a 2ª e a 3ª leis de Newton, para as quais também discutimos alguns exemplos e propusemos alguns exercícios simples envolvendo-as. Também desenvolvemos questões e realizamos exercícios de revisão e de fixação inspirados na literatura de física disponível para o nível médio (especialmente Hewitt e Beatriz Alvarenga), que foram realizados pelos alunos em seus cadernos pessoais. A título de avaliação,

⁴ O material foi disponibilizado na Intranet do Colégio Estadual Presidente Castelo Branco.

utilizamos os seguintes instrumentos: a participação no seminário sobre concepções históricas, a resolução de algumas questões individualmente e o relatório de cada grupo quanto às atividades práticas propostas. Também reaplicamos, individualmente, as questões do pré-teste, com o intuito de analisar se houve, e em que medida, evolução das idéias dos estudantes quanto a força e movimento.

4.2.2 Desenvolvimento da unidade 2 – astronomia

A unidade do curso envolvendo tópicos de astronomia foi abordada em sala de aula entre 30 de outubro de 2006 e 09 de janeiro de 2007, totalizando 40 horas-aula. Nessa unidade, usamos parcialmente o texto de apoio que é o nosso produto educacional, bem como utilizamos 4 dos 5 guias de atividades que havíamos elaborado. Iniciamos aplicando o pré-teste acerca da forma da Terra (Anexo 3), no dia 30 de outubro. No mesmo dia, também foi aplicado um instrumento para detectar as razões às quais os alunos atribuíam a ocorrência de alguns fenômenos astronômicos (Apêndice 10). Nesse instrumento, cada aluno, individualmente, fez um desenho ou esquema que, segundo sua opinião, demonstrasse porque ocorrem os dias e as noites, as estações do ano e as fases lunares. Basicamente, as duas atividades tiveram o propósito de coletar subsídios para analisar em que níveis de pensamento e a partir de que modelos os alunos explicam os temas questionados. Simultaneamente a essas aulas iniciais, levamos os alunos da turma 1N1, em diferentes momentos, ao laboratório de Informática, para apresentar-lhes o TelEduc e para que eles se inscrevessem nesse ambiente virtual de aprendizagem, que foi utilizado para o desenvolvimento de parte do curso referente à astronomia.

A forma esférica da Terra é uma noção necessária para a proposição de explicações para diversos fenômenos cotidianos, tais como a variação dos dias e das noites em diferentes localizações geográficas e ao longo do ano, a variação de temperaturas com a estação e com a latitude. Esses fenômenos e outros, portanto, exigem uma aplicação integrada de aspectos conceituais relacionados à Terra como corpo cósmico - movimento orbital, inclinação do eixo de rotação, forma esférica, rotação em torno de si mesma, campo gravitacional – para sua adequada explicação. O formato da Terra, que explica determinadas observações do nosso cotidiano, por sua vez é explicado a partir da existência de campos e de forças gravitacionais e pelo próprio

movimento de rotação. Por isso, na primeira parte da segunda unidade, optamos em trabalhar com os temas da forma da Terra e de suas interações gravitacionais.

Após as atividades iniciais de diagnóstico, apresentamos um seminário, com o uso de slides em *power-point*, sobre como evoluíram as idéias da humanidade quanto a forma da Terra e sobre como se chegou à determinação de suas dimensões. Seguimos com a realização das atividades práticas propostas no guia de atividades 1 (Apêndice 4). A figura 4.3 mostra os alunos e a professora durante a realização da prática 1 do apêndice 4, na qual estão analisando a projeção de sombras, produzidas a partir de uma fonte de luz de raios paralelos (Sol), sobre uma superfície esférica.



Figura 4.3: Alunos e professora durante prática sobre a forma da Terra. Foto em 13/11/2006.

O objetivo da atividade foi o de facilitar aos estudantes a compreensão da influência da forma da Terra e da latitude em que se encontra o observador na altura medida do Sol e no tamanho das sombras por ele projetadas. O capítulo 1 do texto de apoio da Unidade 2 (Apêndice 2), que trata sobre a forma da Terra, foi indicado aos alunos como leitura complementar. A figura 4.4 mostra no detalhe, na página 53, a variação do tamanho das sombras sobre uma superfície esférica.

Para finalizar a atividade sobre sombras, trabalhamos em sala de aula com o balão celeste (prática 2 do guia de atividades 1 – Apêndice 4). Trata-se de um balão apoiado em um tripé, sobre o qual desenhamos as principais constelações dos hemisférios celestes. O objetivo da atividade é demonstrar que a posição em que uma constelação é vista a partir da superfície

terrestre é diferente para observadores em diferentes latitudes, e que, por isso, as posições aparentes dos astros constituem bons referenciais para medir latitudes. O nível da água colocada dentro do balão tem a função de simular o horizonte do observador, enquanto o próprio balão representa a esfera celeste: o que está acima da água é a parte do céu que é visível por ele.



Figura 4.4.: Variação no tamanho das sombras em diferentes latitudes. Foto em 13/11/2006

Girando o balão, pode-se demonstrar que o movimento aparente das estrelas é um efeito decorrente da rotação terrestre. Em outra aula posterior a essa, no laboratório de informática, os alunos manipularam o *Cybersky*⁵ para simular a situação a partir de diferentes latitudes fazendo as mesmas observações. Com o uso do *software*, também foi possível observar o movimento da esfera celeste. A figura 4.5 mostra o balão utilizado na demonstração.

Apesar de termos feito escolhas no sentido de estabelecer uma seqüência de abordagem dos temas a serem ensinados, necessária à organização das aulas e do curso, é importante salientar que os fenômenos astronômicos com os quais nos propusemos a trabalhar foram citados, lembrados e questionados pelos alunos ou pela professora em diferentes aulas, pois não há como dissociar o fenômeno das leis e dos princípios físicos que o explicam. Por isso, optamos em abordar os movimentos da Terra no contexto da explicação e da compreensão de fenômenos associados a esses movimentos.

⁵ Sempre que citarmos o software *Cybersky*, estamos nos referindo à versão demo, que foi baixada e disponibilizada na Intranet da escola.



Figura 4.5: Balão volumétrico simulando a esfera celeste

Nesse sentido, a rotação terrestre surgiu como o fator principal para explicar o movimento aparente dos astros durante um dia inteiro, observado diretamente pelos alunos, assim como a partir da demonstração com o balão celeste e na manipulação do *software* interativo. Por outro lado, quando analisávamos porque as posições das constelações, vistas a partir de um mesmo lugar da Terra, mudam durante o transcorrer de um ano, surgiu a discussão sobre o movimento de translação. Para levar os alunos a perceberem que as constelações mudam conforme a época, nossa estratégia foi fazer essas observações no ambiente virtual do *Cybersky*, mudando o parâmetro de data para uma mesma localidade, bem como organizar atividade guiada de observação direta do céu. Realizamos duas observações do céu noturno com os alunos durante o semestre, uma em setembro e uma em dezembro de 2006. Essa atividade foi realizada em parceria com a UNIVATES – Centro Universitário do Vale do Taquari, sediada em Lajeado, que conta com um telescópio instalado no terraço de um dos prédios da instituição que é aberto à visitação pública.

Após termos trabalhado o tema da forma da Terra, passamos à discussão das razões para que a Terra seja esférica, usando-o também para introduzir o estudo sobre campos e forças gravitacionais. A leitura do segundo capítulo do texto de apoio da unidade 2 foi obrigatória. Fizemos exposições teóricas sobre campos e forças gravitacionais, apresentamos a Lei da Gravitação Universal de Newton, relacionando-a ao estudo introdutório das forças feito na primeira unidade do curso. Relacionamos a queda dos corpos à ação gravitacional da Terra, assim como discutimos brevemente outras aplicações da lei newtoniana da gravitação. Abrimos dois

fóruns de discussão no TelEduc para debater e enriquecer o estudo de temas ligados à temática. A figura 4.6 mostra a ferramenta *Fóruns de discussão* do TelEduc, na qual também é possível visualizar os demais fóruns abertos.

Fórum	data	Avaliação
Avaliação das aulas de Física (15)	02/01/2007	Não
Estações do ano (22)	02/01/2007	Não
Fases da Lua e eclipses (13)	02/01/2007	Não
Forma da Terra (51)	11/12/2006	Não
A gravidade Terrestre (31)	30/11/2006	Sim
Aplicações da gravitação (39)	30/11/2006	Não
Notícias sobre Astronomia (11)	17/11/2006	Não

Figura 4.6: Ferramenta *Fórum* do TelEduc, utilizada no curso de astronomia.

Alguns alunos participavam destes fóruns a partir de suas casas ou fora de horário, comparecendo à escola no turno da tarde, mas procuramos assegurar que, em alguns períodos de aula, a turma toda pudesse ir ao laboratório e ter oportunidade de participar. Utilizando o *data-show*, mostramos duas animações da *web*, uma sobre buracos negros (disponível em http://casa.colorado.edu/~ajsh/bhi_gif.html) e outra sobre as marés (disponível em http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/tide06a_450.gif). Os alunos sempre se mostraram curiosos e interessados nesse tipo de recurso, geralmente fazendo várias perguntas relacionadas.

Durante o estudo da gravitação, no dia 20 de novembro, os alunos realizaram uma atividade com planilha de cálculo eletrônica para analisar as variações da gravidade terrestre com a altitude. A figura 4.7 mostra o modelo de planilha elaborado para esse fim. Na mesma aula, os

alunos trabalharam com outra planilha, na qual estimaram a gravidade média dos demais planetas e da Lua, a partir de seus raios e massas, bem como simularam qual seria seu peso em cada um desses lugares. Aproveitamos essa atividade para destacar a diferença entre massa e peso. A figura 4.8 mostra os alunos trabalhando nessa atividade no laboratório de informática.

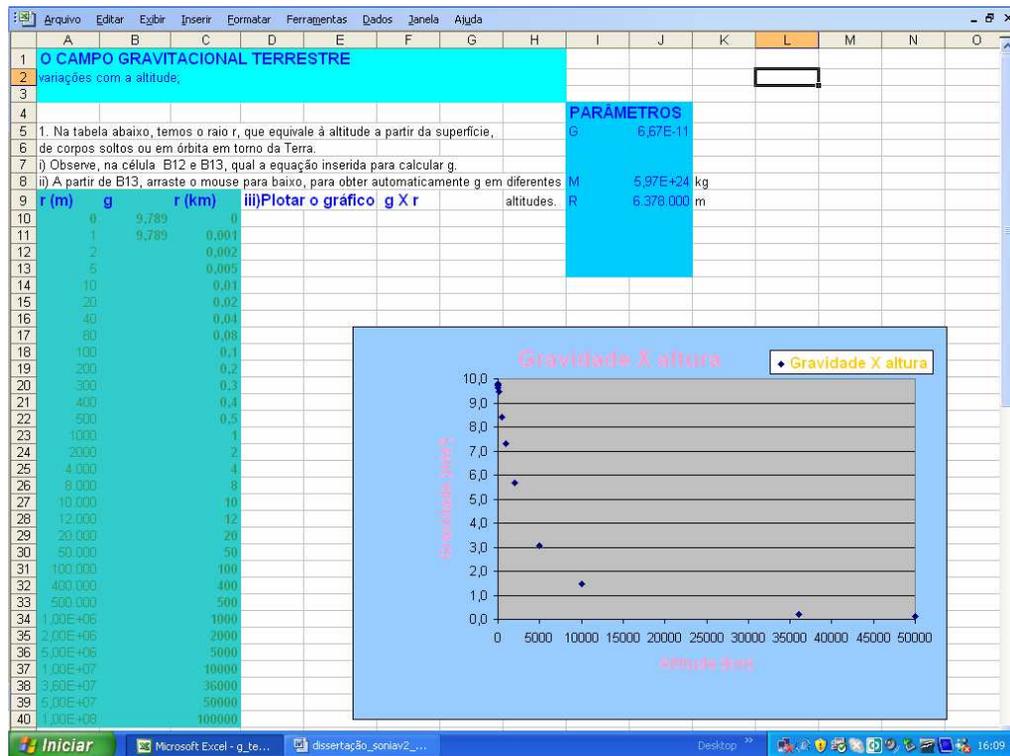


Figura 4.7: Planilha-modelo para análise das variações da gravidade com a altitude.



Figura 4.8: Alunos no laboratório. Foto em 20/11/06.

As questões teóricas do Guia de atividades 3 (Apêndice 6) foram realizadas parcialmente em aula e concluídas em casa e, após, devidamente corrigidas. O guia de atividades 2, sobre as dimensões da Terra, não foi aplicado nas aulas de física, e sim nas aulas de geografia, pela professora Flávia Künzel, conforme combinado previamente, pois essa disciplina também aborda aspectos relacionados à Terra.

Após o estudo sobre campos e forças gravitacionais, que corresponde ao capítulo 2 do texto de apoio *A Terra como corpo cósmico* (Apêndice 2), seguimos para a discussão sobre os fenômenos astronômicos dos dias e das noites, das estações do ano, dos eclipses e das fases lunares. O estudo desses fenômenos corresponde ao conteúdo que desenvolvemos no capítulo 3 do texto de apoio e foi iniciado em 04 de dezembro. Em uma aula anterior, solicitamos que os alunos, em duplas, respondessem às seguintes questões:

1. Por que no inverno os dias são mais curtos e, no verão, mais longos?
2. Por que no verão faz calor e no inverno faz mais frio?
3. Quanto tempo é necessário para completar-se um ciclo de fases da Lua? Em que período do dia a Lua está visível no céu? Justifique suas respostas:
4. Por que em um lugar do mundo é dia enquanto em outro é noite? Se necessário, complemente sua resposta com um desenho:

Ao propor essas questões, o objetivo foi que os estudantes discutissem com seus pares aspectos relacionados aos fenômenos sobre os quais já haviam se manifestado individualmente no instrumento do apêndice 10, de modo a poderem comparar seus próprios argumentos com os dos colegas. Cada dupla devia entregar, por escrito, as respostas das questões que representassem o ‘acordo’ obtido pela dupla quanto à mesma. Na mesma aula, encaminhamos a realização de dois trabalhos extra-classe. O primeiro teve como objetivo discutir aspectos históricos sobre a questão dos movimentos da Terra, com ênfase principal nos modelos geocêntricos e heliocêntricos do sistema solar (Apêndice 11). Esse trabalho culminou em um seminário de discussão realizado em 18 de dezembro de 2006. O segundo trabalho (Apêndice 12) exigiu o estudo e leituras sobre a constituição do sistema solar, visando que os alunos conhecessem alguns aspectos gerais sobre o Sol, os planetas e outras estruturas que o constituem. Esse trabalho foi entregue pelos grupos no dia 26 de dezembro e foi um dos instrumentos de avaliação utilizados no curso.

Encaminhados esses trabalhos, passou-se ao estudo do fenômeno dos dias e das noites e o da rotação terrestre. Sobre esse tema, indicamos aos alunos a leitura relacionada no texto de apoio e os alunos realizaram atividades orientadas pelo guia de atividades 4 (Apêndice 7). O estudo do tema foi bastante rápido, já que foi um dos fenômenos em que os modelos prévios dos alunos já eram, em sua maioria, consistentes com o modelo científico. Aproveitamos especialmente a atividade sobre dias e noites, elaborada a partir da exploração do *site* <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth> (*Earth View*) para que os alunos realizassem observações, em diferentes datas, sobre que regiões da Terra estão escuras e quais estão iluminadas, em uma mesma longitude, mas em latitudes diferentes. O intuito foi o de que os alunos percebessem que, nas datas dos equinócios, ambos os hemisférios são igualmente iluminados, enquanto que, nos solstícios, há distribuição desigual da radiação solar sobre os dois hemisférios, como é facilmente identificado através das imagens disponíveis no *Earth View*.

Queremos salientar que essa atividade teve grande envolvimento por parte da turma, embora tendo demorado um pouco para realizá-la. Mas isso foi compensado pelo fato de eles terem demonstrado uma boa compreensão dos aspectos que estavam sendo explorados. Para exemplificar, incluímos a figura 4.9 (p 59), na qual podemos observar que, na época de outono no hemisfério sul (maio), a Terra está em uma posição orbital tal que o hemisfério norte recebe maior incidência de luz solar em comparação ao sul. Os alunos fizeram observações para as datas de solstício (21 de dezembro e 21 de junho) e de equinócio (21 de março e 21 de setembro), uma vez que o *site* permite alterar as datas de observação.

Outra atividade que motivou bastante os alunos foi realizada com o uso de uma animação da *web* bastante interessante, que simula a realização da experiência de Foucault com um pêndulo, comprovando a rotação terrestre.

Mostramos a animação através de projetor multimídia. Ela se encontra disponível em <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html> e mostra um pêndulo oscilando em um plano fixo, ao passo que a Terra gira abaixo dele. Os alunos acharam-na muito interessante, e logo fizeram associação com o pêndulo em exposição no Museu de Ciência e Tecnologia da PUC-RS, em Porto Alegre.

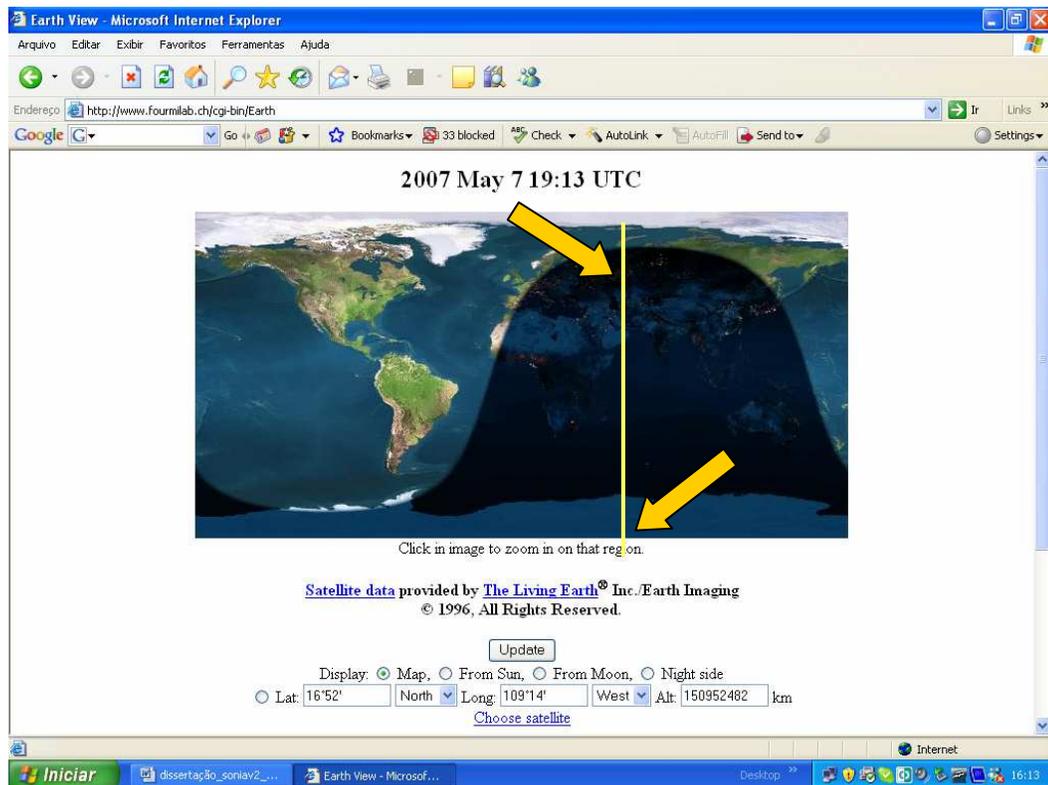


Figura 4.9: Vista da Terra para a data de 07 de maio de 2007. Os hemisférios norte e sul estão desigualmente iluminados, ao longo de um mesmo meridiano.

Após o estudo da rotação terrestre e da discussão de alguns fenômenos associados a ela, passamos ao estudo de outros fenômenos. Organizamos os estudantes em seis grupos, de modo que houvesse sempre dois grupos estudando o mesmo fenômeno. Os temas propostos aos grupos foram: as estações, as fases da Lua e os eclipses. Primeiramente, cada grupo teve de discutir e propor um modelo inicial para explicar o fenômeno. Depois, eles foram desafiados a aprofundar o tema e a aperfeiçoar seus modelos explicativos. À medida que faziam isso, os alunos faziam registros concomitantes nos cadernos pessoais. Em horário de aula, foram oportunizadas três horas-aula para discussão e organização dos grupos, embora alguns tenham concluído essa atividade fora do horário. A apresentação dos grupos ocorreu nas seguintes datas: estações e eclipses no dia 18 de dezembro e fases da Lua no dia 19 de dezembro.

Sobre os eclipses, os grupos elaboraram cartazes que foram complementados com a projeção de um filme disponibilizado no *site* do planetário da UFRGS. No fórum de discussão intitulado “Notícias sobre astronomia” os eclipses foram bastante comentados, em função do eclipse parcial do sol em setembro de 2006.

À medida que os grupos apresentavam os resultados de suas pesquisas, fizemos registros no quadro, a fim de que todos os grupos pudessem anotar os resultados gerais obtidos, e fomos intercalando as apresentações com exposições e explicações adicionais. Para complementar a atividade sobre as estações, mostramos um *applet* disponível em <http://www.shermanlab.com/science/physics/mechanics/EarthSun.php>.

A figura 4.10 mostra alguns integrantes dos grupos que pesquisavam sobre o tema das estações do ano fazendo uma demonstração com o objetivo de analisar a variação da incidência de luz solar em diferentes regiões da Terra à medida que ela orbita o Sol, mantendo fixo seu eixo de rotação. Já a figura 4.11 mostra toda a turma do 1N1 reunida no mini-auditório da escola.



Figura 4.10: Grupo simulando as principais posições orbitais da Terra.



Figura 4.11: Turma do 1N1. Foto: 18/12/2006.

A figura 4.12 mostra alguns integrantes do grupo que pesquisava sobre o tema das fases da Lua fazendo uma demonstração sobre o assunto.



Figura 4.12: Alunas explicando a ocorrência das fases da Lua.

Os movimentos relativos do sistema Sol-Terra-Lua permitiram a retomada do tópico sobre campos e forças gravitacionais, que foram analisados e explicados no contexto da lei da gravitação universal. Procuramos conduzir as discussões e as apresentações de modo que os estudantes percebessem que é a força gravitacional entre a Terra e o Sol, ou entre a Terra e a Lua, ou ainda, entre os três astros, que produz tais fenômenos. Ao falar do movimento orbital da Terra em torno do Sol voltou-se à discussão a respeito da necessidade da existência de uma força resultante não-nula exercida sobre a Terra, cujo efeito é fazer variar a direção do movimento da Terra. Os temas das fases da Lua e dos eclipses também oportunizaram a referência às interações gravitacionais, bem como a noções básicas sobre a propagação da luz.

Já pelo final do curso, tínhamos como meta que os estudantes, ao construírem um modelo adequado para as estações, ou para os outros fenômenos abordados, percebessem a necessidade de incluir, em suas explicações, o conceito de Terra cósmica, redonda, imersa no espaço sideral isotrópico, mudando constantemente de posição em relação ao Sol e às estrelas e interagindo gravitacionalmente com eles. Isto é, esperava-se que os conceitos da forma da Terra e de sua gravidade ressurgissem durante diferentes aulas, de acordo com a necessidade conceitual de recorrer a esses aspectos para melhorar ou modificar as explicações fornecidas para os fenômenos

estudados. Isto de fato se confirmou, o que reafirma o caráter de conceito subsunçor que foi retomado em diferentes momentos ao longo do curso.

No texto de apoio, discutimos em detalhes outros fenômenos associados às estações do ano (variações de temperatura, na altura do Sol, na posição de nascer e ocaso do Sol), embora na realização de nosso curso não tenhamos chegado a usar essa parte do texto; apenas fizemos referências a essas variações à medida que elas surgiam naturalmente durante as discussões ou questionamentos dos alunos. Também não estudamos as leis de Kepler, apenas nos referimos à 1ª e à 2ª leis quando foi discutida a translação da Terra em torno do Sol e também quando os grupos apresentaram os trabalhos sobre o sistema solar, em 26 de dezembro de 2006. Aproveitamos e mostramos *applets* disponíveis na Internet sobre as mesmas.

Outros instrumentos de avaliação usados foram as contribuições orais e escritas dos alunos nos fóruns de discussão, nos seminários em aula e nas apresentações em grupo. Também a resolução das questões dos guias de atividades nos forneceu um parâmetro para inferir em que medida os estudantes estavam evoluindo suas idéias em relação às idéias iniciais.

De um modo geral, nos organizamos metodologicamente para que os estudantes tivessem contato com materiais diversificados (textos, aulas expositivas, demonstrações, simulações, seminários, observações do céu) que fossem potencialmente significativos, já que essa é uma condição necessária para viabilizar uma aprendizagem significativa. Esses materiais foram elaborados de maneira a permitir o conhecimento dos diferentes aspectos conceituais cujo domínio é necessário para a construção de um modelo teórico para a Terra que seja consistente com a astronomia moderna. Por outro lado, as diferentes atividades desenvolvidas e os correspondentes materiais aplicados visaram proporcionar a interação dos estudantes com o conhecimento científico produzido e acumulado pela humanidade, que explica e descreve os eventos e situações discutidas. No capítulo a seguir, discutiremos alguns parâmetros para analisar até que ponto nossos objetivos foram alcançados.

Capítulo 5: DISCUSSÃO DE ALGUNS RESULTADOS

5.1 Evolução da aprendizagem quanto a forças e interações

Em passagens anteriores já havíamos destacado que o intuito principal da aplicação da unidade 1 foi abordar com os alunos alguns conceitos básicos de física que também são necessários ao estudo da astronomia. Agora, vamos retomar os aspectos que quisemos enfatizar e apresentar alguns resultados observados durante a aplicação da unidade 1.

Um dos aspectos foi o de reconhecimento e de comparação das concepções históricas acerca de força e de movimento, o que geralmente contribui para a evolução das concepções dos estudantes. A literatura que anteriormente apresentamos já apontava para a dificuldade dos sujeitos evoluírem, das concepções aristotélicas para as newtonianas, quanto a relação entre força e movimento. Por mais que um estudante seja capaz de resolver situações-problema aplicando as leis de Newton, ele geralmente permanece com a idéia de que a força é proporcional à velocidade, de que todo movimento exige que uma força esteja sendo continuamente exercida. A partir disso, nosso foco foi levar os alunos a identificarem suas concepções prévias e a compará-las com as idéias históricas acerca do assunto. Nesse aspecto, através de leituras realizadas pelos alunos, sob indicação da professora, e seminários sobre o tema, percebemos que os alunos conseguiam relacionar suas respostas ao pré-teste e seus posicionamentos em debates com as idéias de Aristóteles, com a teoria do *Impetus* ou com a concepção newtoniana. Nosso objetivo, mais do que *eliminar* as concepções alternativas dos futuros professores, foi fazê-los perceber que idéias diferentes muitas vezes co-existem em um mesmo indivíduo, que há diferentes maneiras de descrever uma situação, mas que no contexto da mecânica clássica tem-se que adotar as leis de Newton e suas implicações para a análise de situações e interpretação de fatos.

Um aspecto que contribuiu bastante para a percepção dos alunos foi a distinção que Aristóteles fazia entre movimentos terrestres e celestes. Eles fizeram uma boa discussão sobre o assunto, apontando as causas para os movimentos celestes (as órbitas) como sendo as forças gravitacionais, pois na ausência destas o movimento seria retilíneo. Com nossa mediação, os estudantes perceberam que essa é a tendência geral de todos os corpos em movimento, e que, se ocorrem mudanças (alteração de orientação e/ou de módulo da velocidade), é porque uma força

resultante não-nula está sendo exercida sobre o corpo. A atividade 2 do Apêndice 9, na qual um balão acoplado a um CD faz com que este se movimente com pouco atrito, causou muito impacto entre os alunos. Os relatórios produzidos pelos grupos evidenciaram que os alunos passaram a perceber a ação do atrito como uma força que ‘impede’ a efetivação da tendência ao movimento retilíneo e uniforme. Um determinado grupo assim se manifestou: *“O ar que sai do balão reduz bastante o atrito, então, enquanto tem ar saindo, o disco se movimenta sem precisar de força horizontal para isso; só que quando o ar acaba, o CD pára por causa do atrito”*.

Também foi importante para os alunos a demonstração de que o tempo decorrido e a distância percorrida por um objeto, até parar, dependem da interação entre o objeto e a superfície na qual se apóia, para depois generalizarem o resultado: se um objeto for lançado sobre uma superfície sem qualquer atrito, com uma velocidade inicial v_0 , ele se movimentará indefinidamente, mantendo sua velocidade inalterada, como Galileu previra ao conceber a idéia de inércia. Lançamos horizontalmente uma bola sobre o piso de concreto de uma quadra de esportes, e depois sobre o piso de uma pista de corrida com piso de areia, sendo a diferença observada atribuída consensualmente pelos alunos à diferente intensidade do atrito em cada caso.

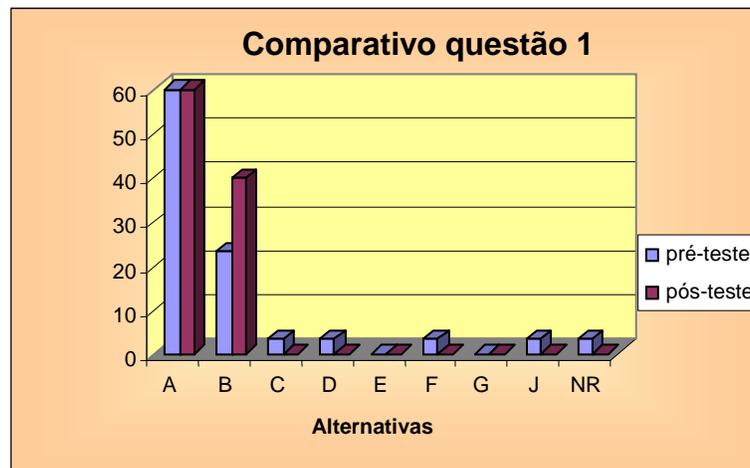
Conceitualmente, pretendíamos terminar essa unidade com os alunos tendo compreendido que um dos efeitos da ação das forças é o de produzir mudanças no movimento dos corpos, acelerando-os. Particularmente, queríamos que os alunos percebessem que a força gravitacional é que produz a aceleração da gravidade, e que ela é responsável tanto pela queda de corpos quanto pelo movimento de satélites e planetas. Exploramos essa relação de maneira apenas qualitativa, praticamente não realizando atividades de resolução de problemas que envolvessem a 2ª lei de Newton do movimento. Também discutimos a diferença entre massa e peso, conceitos que os alunos confundem freqüentemente um com o outro.

Depois de decorrido um mês da conclusão da unidade 1, reaplicamos o pré-teste a fim de comparar e analisar se teria havido alguma mudança conceitual quanto à compreensão das relações entre força e movimento, e determinar em que medida as estratégias de discussão, prática e comparação de idéias desenvolvidas nas aulas, contribuíram para uma mudança conceitual. Vamos apresentar o resultado de algumas das questões do pós-teste aplicado (o mesmo instrumento do pré-teste, Anexo 2).

As questões 1 a 7 exigiram que o aluno definisse qual o sentido e a intensidade da força, ou se era necessário haver uma força exercida, para movimentar um trenó conforme condições

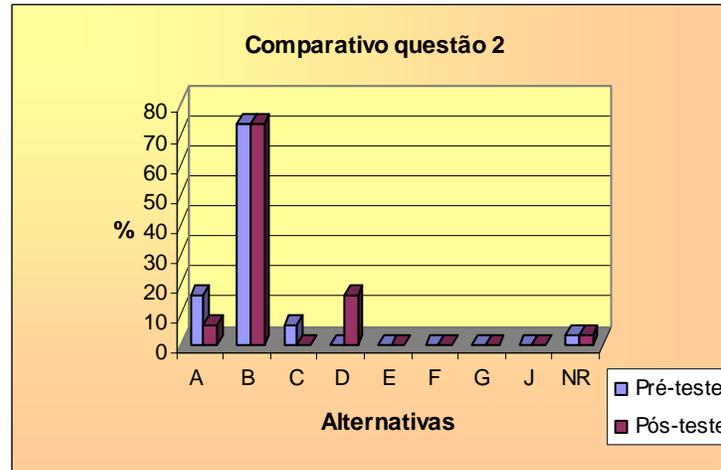
descritas. Vamos analisar algumas das respostas, agrupando-as de acordo com as similaridades de raciocínio que elas exigem. Na questão 1, o trenó se move para a direita, aumentando sua velocidade com aceleração constante. O percentual de alunos que escolheu a alternativa A (força para a direita, e aumentando) manteve-se o mesmo entre o pré e o pós-teste, revelando que a concepção alternativa de que força é proporcional à velocidade é realmente muito arraigada. Por outro lado, enquanto no pré-teste apenas 23% dos alunos associaram esse movimento a uma força exercida para a direita e de intensidade constante, no pós-teste esse percentual subiu para 40%. Um fator provável para essa melhoria é que, ainda que em percentual pequeno, alguns alunos compreenderam que a ação da força é produzir a aceleração que corresponde ao aumento uniforme da velocidade. O gráfico 5.1 compara as respostas a essa questão nos dois instrumentos.

Gráfico 5.1: Trenó para a direita, aumentando velocidade uniformemente. Alternativa correta: B.

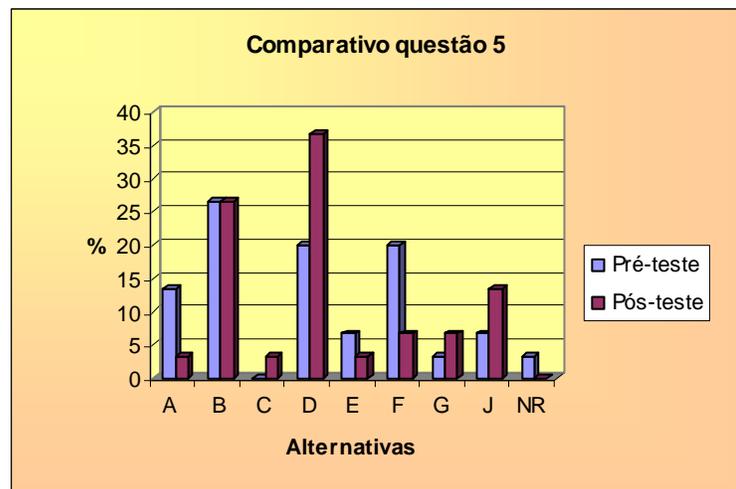


Já na questão 2, os alunos deveriam escolher a alternativa que correspondesse à situação do trenó movendo-se para a direita com velocidade constante. Mais uma vez, foi alto o percentual de estudantes que optaram pela afirmativa de que há dependência da força com a velocidade: 73% no pré e no pós-teste. Isso sinaliza que essa concepção permanece muito forte, apesar das discussões e das experiências realizadas em sala de aula, em que se procurou reduzir ao máximo o atrito para que o disco tivesse um movimento uniforme. Por outro lado, enquanto no pré-teste nenhum aluno escolheu a alternativa que aponta a não-necessidade de força, no pós-teste esse percentual subiu significativamente para 17%, demonstrando que as discussões e as atividades desenvolvidas tiveram efeito sobre as concepções de alguns alunos. O gráfico 5.2 mostra a distribuição de respostas para a questão dois, descrita acima.

Gráfico 5.2: Trenó para a direita, com velocidade constante. Alternativa correta: D

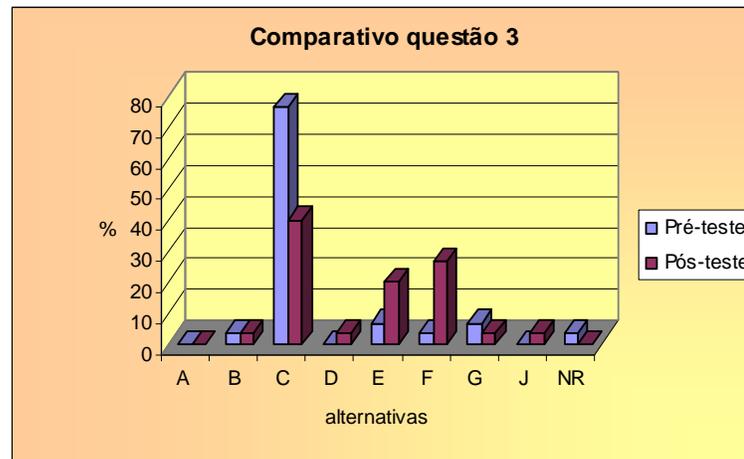


A questão 5 era similar à 2. Os alunos deveriam indicar que força manteria um trenó que foi empurrado do repouso até uma velocidade v , movendo-se com essa velocidade. O percentual de alunos que pensam que, para haver velocidade constante, deve haver força constante exercida (alternativa B) foi igual no pré e no pós-teste: 27%. Como aspecto positivo, praticamente dobrou o percentual de alunos que consideraram não ser necessária uma força exercida para haver MRU (alternativa D), passando de 20% para 37% do total de alunos. A seguir, o gráfico 5.3, relativo à questão 5 do pré e pós-teste de dinâmica.

Gráfico 5.3: Trenó empurrado do repouso até v . Força necessária para mover-se nessa velocidade v . Alternativa correta: D

A questão 3 pedia que os alunos definissem a intensidade e o sentido da força necessária para diminuir uniformemente a velocidade do tremó que está movendo-se para a direita. Eles deveriam perceber que a força e a aceleração necessárias para produzir um movimento retardado são de sentido oposto ao do movimento, ou seja, orientadas para a esquerda, e que essa força deve ser constante. Inicialmente, 70% dos alunos escolheram a opção C, força para a direita e diminuindo de valor. No pós-teste, 40% ainda pensavam que, se a força diminuir, mesmo tendo o mesmo sentido do movimento, reduziria a velocidade do tremó! Do total, 7% no pré-teste, e depois 20% no pós-teste, perceberam que a força está orientada para a esquerda, mas diminuindo em intensidade. Esse resultado, que aparece nas diferentes questões sobre o tremó, confirma os resultados da literatura de que a confusão conceitual mais comum, a ser superada, é da suposta proporcionalidade entre força e velocidade. No pós-teste, 27% dos alunos reconheceram corretamente que a força está orientada para a esquerda e é constante, contra apenas 3% do pré-teste. O gráfico 5.4 apresenta os dados relativos a essa questão.

Gráfico 5.4: Tremó para a direita, diminuindo uniformemente a velocidade. Alternativa correta: F

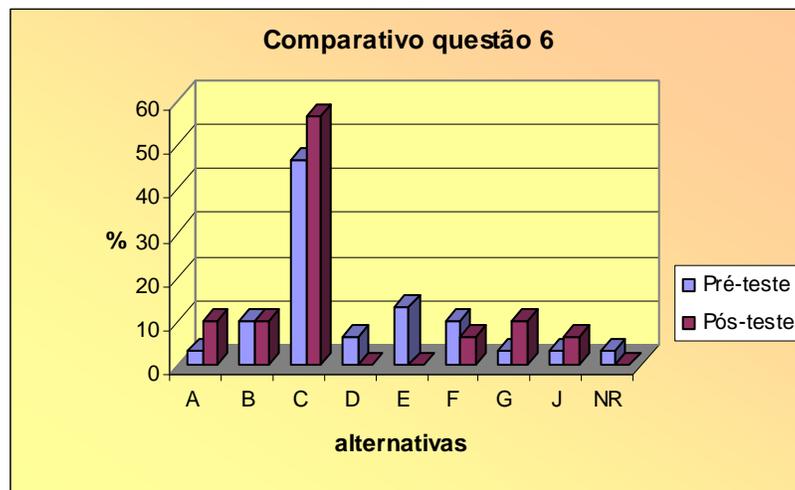


A questão 6 supõe um tremó diminuindo de velocidade, com aceleração direcionada para a direita, e pede que o aluno determine a força responsável por esse movimento. Note-se que, nessa questão, a aceleração não é definida como constante. Assim, tanto uma força constante quanto uma variável, se direcionada para a direita, teria como efeito a redução da velocidade. Essa condição admite as alternativas A, B ou C como corretas. No pré-teste, 60% dos alunos escolheram uma destas, enquanto no pós-teste esse índice subiu para 77%. Pensamos que esse percentual de acerto mais elevado em comparação às demais questões que envolvem o tremó foi favorecido pelo fato de haver mais de uma opção correta, já que a tendência predominante entre

os alunos, mesmo no pós-teste, é supor tacitamente haver uma relação de proporcionalidade entre força e velocidade. Porém, assim como nas demais questões, é provável que parte desse resultado possa ser atribuída, de fato, a uma compreensão correta, pelos alunos, da situação proposta.

Já no pós-teste, 17% dos alunos escolheram a opção que supunha haver uma força para a esquerda, variável ou constante (alternativas F ou G). Provavelmente, esses alunos consideraram o sentido da aceleração como sendo o do movimento, demonstrando desconhecer que o sentido da força (resultante) é sempre o mesmo da aceleração que ela produz. A distribuição das respostas à questão 6 é mostrada no gráfico 5.5.

Gráfico 5.5: Trenó diminuindo velocidade e aceleração para a direita. Alternativas corretas: A, B ou C.

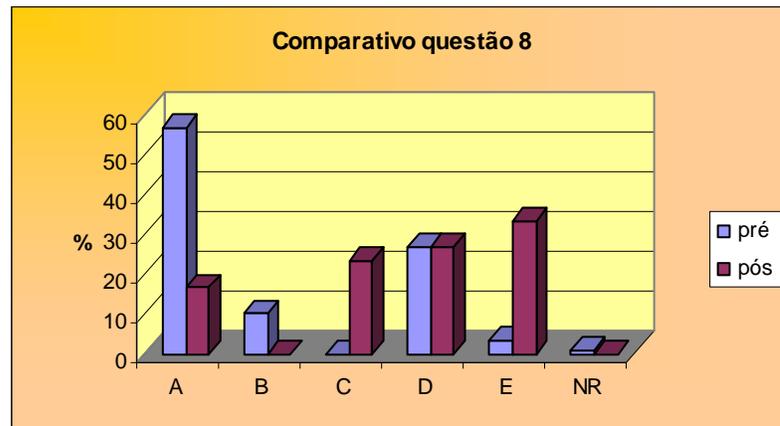


As questões de 8 a 10 do instrumento de diagnóstico de concepções se referem a um lançamento vertical, para as quais a interpretação correta é que a ação gravitacional, o vetor peso, desacelera o corpo durante a subida, o faz parar momentaneamente ao atingir uma altura máxima, e o acelera de novo na descida. Tais questões foram retiradas do trabalho de Silveira, Axt Moreira (1986). A seguir, apresentaremos a distribuição de respostas da turma 1N1 para cada questão do grupo.

Na questão 8, referente à subida de um projétil, 17% dos alunos escolheu a alternativa A, no pós-teste, pela qual uma única força é exercida de baixo para cima. Esse índice foi de 57% no pré-teste! O raciocínio empregado estava apoiado na concepção aristotélica de que deve haver uma força exercida no sentido do movimento. Escolheram corretamente a opção C 23% dos alunos no pós-teste, contra nenhum no pré-teste. Esse resultado sugere que muitos alunos, que

antes ignoravam a força gravitacional, agora a consideram uma força sempre presente, qualquer que seja a direção do movimento. Esse resultado também indica que os estudantes tornaram-se familiarizados com a idéia (newtoniana) de que força e aceleração, sendo contrárias ao movimento, reduzem o valor da velocidade. Por outro lado, 27% dos alunos escolheram a opção D, reconhecendo a existência da força gravitacional, mas sugerindo a existência de outra força, orientada para cima, cujo módulo deve ser maior do que o peso. De certa forma, houve uma evolução conceitual, na medida em que muitos alunos agora reconhecem a existência de campos e de forças gravitacionais, embora ainda presos à noção de que deve haver força no sentido do deslocamento. Um resultado curioso foi o do aumento percentual (de 3 para 33%) de alunos que acham que existem duas forças iguais e contrárias exercidas sobre o objeto lançado durante a subida. Se eles passaram a identificar a ação da gravidade, um indício de evolução cognitiva, por outro lado ignoraram o fato de que forças de mesmo módulo, mas contrárias, se anulam quando exercidas sobre um mesmo corpo, o qual deveria, então, manter-se em movimento uniforme, não caindo de volta ao chão, como de fato acontece. O gráfico 5.6 mostra o padrão de respostas da turma para essa questão.

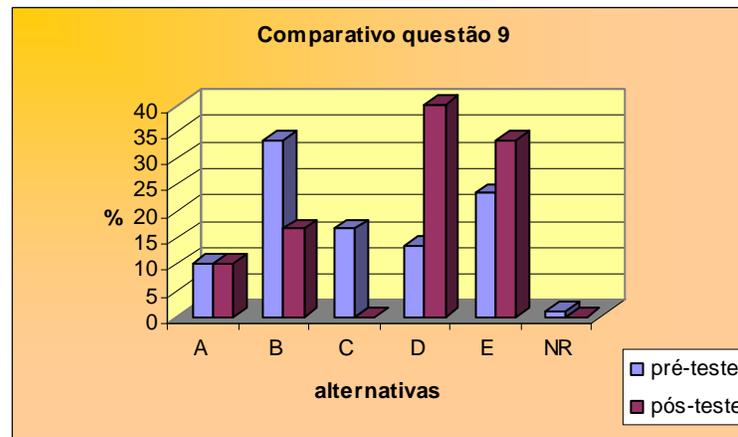
Gráfico 5.6: Subida de um projétil lançado verticalmente para cima. Alternativa correta: C



A questão 9 se refere ao mesmo lançamento vertical, com a bola posicionada agora no ponto de altura máxima. Geralmente, os alunos associam essa posição com o fato da velocidade instantânea ali ser nula. Para 10% dos alunos, provavelmente usando essa informação, a opção escolhida foi a da alternativa A, que afirma não haver força exercida quando a velocidade for nula. Novamente, os estudantes fundamentaram suas escolhas em uma suposta proporcionalidade entre força e velocidade. Inicialmente, 13% deles, e depois 40% dela, optaram corretamente pela

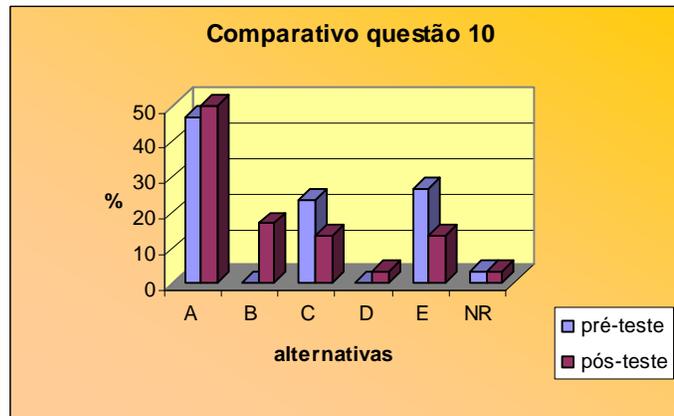
alternativa D, na qual o único vetor representado é o da força peso. Esse percentual de acerto é maior do que o da questão 8, o que sugere que alguns alunos que visualizavam duas forças, o peso e outra força exercida no sentido do movimento, agora passaram a desconsiderar a existência da segunda porque a bola lançada está instantaneamente parada naquela posição. Isto é, esse índice de acerto maior revela novamente que muitos alunos ainda raciocinam com base numa suposta proporcionalidade entre F e v , embora conjuntamente com o reconhecimento correto da ação gravitacional. Por fim, 33% dos alunos optaram pela alternativa E no pós-teste, na qual há dois vetores de mesmo comprimento, mas contrários, desenhados sobre a bola. Observe gráfico 5.7.

Gráfico 5.7: Lançamento vertical na posição de máxima altura. Alternativa correta: D



A questão 10 se refere à descida de uma bola que foi lançada verticalmente para cima. Nesse caso, no pós-teste, verificamos que 13% dos alunos continuam identificando, além do peso, a existência de outro vetor força orientado de cima para baixo - talvez apoiados na idéia de que a força, que na subida foi exercida de baixo para cima, agora devesse agir em sentido contrário... Esse índice foi de 23% no pré-teste e de 13% no pós-teste, correspondendo à alternativa C. A opção pela alternativa correta, A, foi feita por 47% dos alunos antes da aplicação da Unidade 1, e por 50% após a mesma. Observa-se que, nesse caso, o índice não evoluiu muito. Por fim, 17% dos alunos escolheram a opção de vetores de mesmo módulo e sentidos contrários (B), índice que ficou abaixo ao das questões 8 e 9 para a mesma opção. O gráfico 5.8 mostra a distribuição de respostas da turma a essa questão.

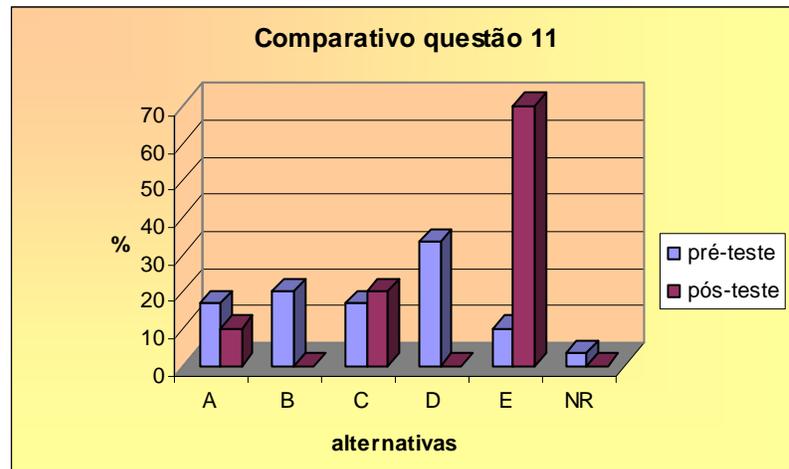
Gráfico 5.8: Descida de um projétil lançado verticalmente para cima. Alternativa correta: A



A questão 11 tinha como intuito investigar se os alunos consideram o movimento orbital de um satélite em torno da Terra como uma decorrência da atração gravitacional. Se eles optassem por alguma alternativa em que há um vetor-força exercido tangencialmente à trajetória orbital, estariam revelando, novamente, que crêem na idéia aristotélica de que existe uma correlação entre força e velocidade. A alternativa que continha essa opção de vetores, a opção A, foi escolhida por 17% dos alunos no pré-teste, percentual que se reduziu para 10% no pós-teste. As opções B e D foram escolhidas, respectivamente, por 32% e 33% no pré-teste, ambos os índices caindo exatamente para zero no pós-teste. A alternativa B mostra uma configuração em que há somente um vetor força, orientado tangencialmente à trajetória orbital. A alternativa D, por sua vez, contém um vetor centrípeto e outro centrífugo, além de um vetor tangente à trajetória do satélite. Ao não mais optarem mais pela alternativa B, os alunos estariam apoiando seu raciocínio na necessidade de existência de uma força centrípeta para manter objetos em trajetórias circulares, que, no caso da questão, eles atribuem à ação gravitacional da Terra.

Nessa questão, pode-se sugerir como conclusão que houve um significativo avanço cognitivo, pois o percentual de alunos que optaram pela alternativa E, correta, aumentou de 10% para 70%, conforme mostra o gráfico 5.9.

Gráfico 5.9: Força(s) exercida(s) sobre um satélite artificial em órbita terrestre. Alternativa correta: E.



O terceiro grupo de questões que aplicamos explorava a diferença entre massa e peso e a análise de qual dessas grandezas é variável e qual é constante. Como resultado geral, percebemos que a compreensão dos alunos quanto à distinção dos dois conceitos melhorou bastante após o estudo das forças, uma vez que o avanço dos percentuais de escolhas corretas para cada uma dessas questões foi bastante significativo: 80% dos alunos, no pós-teste, sabiam que nas embalagens dos produtos está a indicação da massa. Além disso, 77% (I) e 70% (II) deles responderam, respectivamente, também no pós-teste, que a massa de um astronauta não muda se ele está em órbita (I) ou se ele está na Lua (II). Enfim, 75% e 80% dos alunos, respectivamente, souberam responder que o peso do astronauta, nas mesmas condições, fica menor.

A última questão proposta investiga se os alunos associaram a situação de repouso com o equilíbrio de forças exercidas sobre ele, ou seja, com uma força resultante nula. Os alunos deveriam optar entre os vetores representados para representar corretamente as forças exercidas sobre um caixote parado sobre uma mesa. Cerca de 7% dos alunos escolheram a opção em que a força normal é maior que o peso, ou seja, não relacionaram equilíbrio com resultante nula. Outros 2 alunos (7%) identificaram apenas o vetor peso, o que também implica que a resultante não é nula e que a mesa não teria nenhuma participação na situação de equilíbrio do caixote. Por fim, 26 alunos (87%), optaram corretamente pela alternativa em que o vetor peso e o vetor normal têm o mesmo tamanho, revelando que eles associam o equilíbrio mecânico a uma força resultante nula.

Olhando de maneira geral para esses resultados, concluímos o que já é corrente no meio da pesquisa em ensino quanto à evolução conceitual para a compreensão das relações entre força e movimento: a) que a assimilação das idéias da mecânica clássica é um processo lento e complexo do ponto de vista cognitivo; b) que as concepções prévias dos alunos não são eliminadas facilmente, e na maioria dos casos continuam co-existindo com novos significados que o sujeito adquiriu. c) que, a partir de nossos dados, podemos perceber que a idéia de existência de uma relação de proporcionalidade entre força e velocidade é a concepção alternativa que mais deve ser levada em conta, explorada e elaborada, usando-se diferentes estratégias, para avançar no sentido de que é a força que produz a aceleração, e de que, portanto, a força é proporcional à *mudança* na velocidade, e não à velocidade em si. Essa idéia constitui, portanto, o principal obstáculo epistemológico a ser trabalhado e superado na aprendizagem e compreensão das leis de Newton do movimento.

Tendo em vista nosso objetivo ao desenvolver a unidade 1, e considerando os resultados obtidos, embora mais modestos do que o desejado, consideramos satisfatórios os avanços conceituais que pudemos identificar em nossos alunos, tanto nas avaliações desenvolvidas durante o processo quanto nos testes sobre concepções. Já tínhamos em vista que, em um curto período de tempo, não conseguiríamos obter mudanças cognitivas tão difíceis.

5.2 Análise dos níveis conceituais para forma da Terra e gravidade

No curso de astronomia que desenvolvemos tivemos como foco principal a construção de uma noção conceitual de Terra como corpo cósmico. Isso implicou levar os alunos a perceberem as conexões entre forma da Terra e sua gravidade, usando as noções de força já desenvolvidas na primeira parte do curso (noções de dinâmica). Por outro lado, optamos em trabalhar inicialmente com o que consideramos serem conceitos estruturantes, pois tanto a forma da Terra e a gravidade terrestre são noções exigidas na explicação dos fenômenos astronômicos que discutimos com os futuros professores do curso aplicado, alunos de um curso normal em nível médio.

Assim, vamos primeiramente apresentar as noções gerais que identificamos entre os alunos investigados quanto a esses dois conceitos, pois partimos do pressuposto, defendido por autores que já citamos (Nussbaum, 1979; Baxter, 1989; Nardi e Carvalho, 1996; Parker e Heywood, 1996; Sneider e Ohadi, 1998), de que é imprescindível ter uma visão científica de

Terra cósmica para poder compreender os fenômenos astronômicos ocasionados pelas interações nas quais ela participa.

Para investigar as concepções dos alunos quanto a essas noções, usamos um teste de concepções (Anexo 3) elaborado a partir de questões disponíveis na literatura (trabalhos de Sneider e Ohadi (1998), e de Nussbaum (1979)). Organizamos as respostas em níveis conceituais, os quais agrupam idéias similares que representam desde uma perspectiva egocêntrica, ou ingênua, até a perspectiva científica. Aplicamos esse instrumento antes do início do curso, para minimizar a influência das aulas sobre as idéias prévias dos alunos a respeito de cada questão. O mesmo instrumento, acrescido de uma segunda parte sobre os fenômenos astronômicos, foi aplicado em caráter de avaliação final (pós-teste), no dia 08 de janeiro de 2007, ao final do curso e do ano letivo de 2006.

Para organizar os níveis, inspiramo-nos nas categorizações de Nardi e Carvalho, (1996), e de Nussbaum (1979). Para avaliarmos as concepções sobre gravidade, adotamos três níveis. O nível 1 (N1) representa uma visão ingênua, que pode conter a noção de Terra esférica, mas no qual a ação gravitacional é ignorada. De acordo com essa visão, objetos em queda têm um sentido preferencial e absoluto, que é sempre para baixo, desconsiderando o referencial do lugar em que estão. Segundo Nussbaum, um aluno com este nível de raciocínio ainda não tem o que determina de '*feeling cósmico*', ou seja, analisa tudo a partir do ponto de vista egocêntrico e da Terra isolada e absoluta.

Já o nível 2 é um nível intermediário, com algum *feeling*, mas ainda mantém elementos da visão egocêntrica. Esse nível se traduz, por exemplo, na idéia de que a Terra é redonda, mas as pessoas vivem apenas na metade superior da mesma, ou na concepção de que o chão, na perspectiva topocêntrica da Terra esférica, é sempre o que está embaixo. Por último, o nível 3 representa aquele grupo de alunos cujos modelos teóricos já estão apoiados na perspectiva científica ou muito próximos dela.

Passaremos a apresentar e comparar os resultados entre as diferentes questões, retomando e analisando em que medida as atividades que desenvolvemos durante a unidade 2 do curso contribuíram para as melhorias observadas.

A questão inicial propunha que os alunos representassem, na primeira etapa, garrafas com água até a metade e posicionadas no pólo norte da Terra, sendo uma fechada e outra aberta. A

segunda etapa da questão pedia que representassem as mesmas garrafas, nas mesmas condições, só que agora posicionadas no pólo sul.

Na primeira etapa, todos os respondentes o fizeram corretamente (100%), tanto no pré-teste quanto no pós-teste. As exceções se referem a um aluno (pré-teste), e depois três (no pós-teste), que não fizeram essa questão. Na primeira etapa, todos os alunos que responderam as questões o fizeram corretamente (100%), tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Dentre os alunos que não responderam (um no pré-teste e três no pós-teste) está um aluno com dificuldades especiais, como foi explicado anteriormente (p.13).

Já na segunda etapa dessa primeira questão, referente às garrafas no pólo sul, 20% dos alunos inicialmente representaram a água caindo da garrafa aberta e posicionada na metade inferior na garrafa fechada, opção característica do nível 1. Esse índice reduziu para 3% (1 aluno) no pós-teste. Abaixo, na figura 5.1, a reprodução da representação de um aluno nesse nível. No pós-teste, 93% dos alunos responderam a questão do pólo sul corretamente, do que concluímos que, após o curso, percebem nitidamente que é a ação da gravidade que atrai a água em direção ao chão do lugar, independentemente da posição sobre a superfície da Terra.

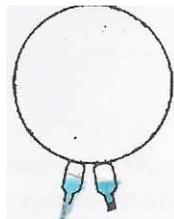


Figura 5.1: Representação característica de aluno no nível 1 para a noção de gravidade.

A segunda questão propunha que os alunos representassem, através de linhas contínuas, a trajetória de uma pedra que fosse solta por pessoas localizadas em cinco diferentes posições na superfície da Terra. As figuras 5.2 e 5.3 (na página a seguir) mostram as representações típicas de um aluno identificado como nível 1 e outro como nível 3, respectivamente. Já os gráficos 5.10 e 5.11, a seguir, mostram a distribuição, por níveis, das respostas no pré e no pós-teste para essas questões.

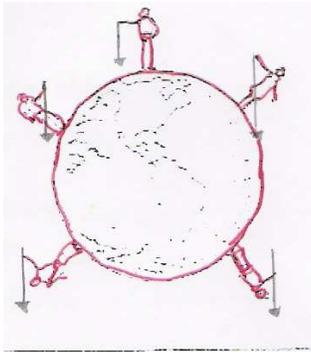


Figura 5.2: Queda de uma pedra. Desenho de um aluno no nível ingênuo (1).

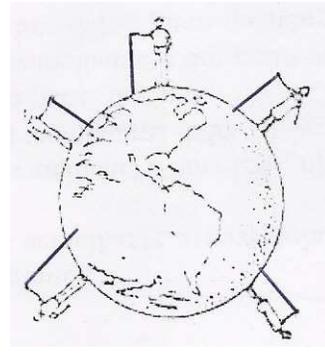


Figura 5.3: Queda de uma pedra. Desenho de um aluno no nível 3.

Gráfico 5.10: Distribuição de respostas do pré-teste para a questão do movimento de uma pedra abandonada próximo à superfície terrestre.

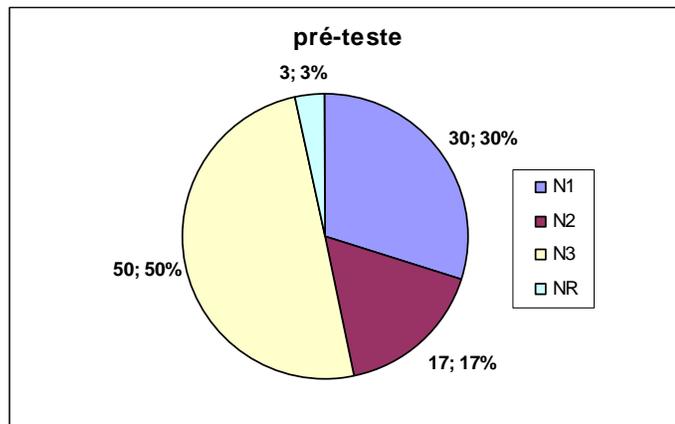
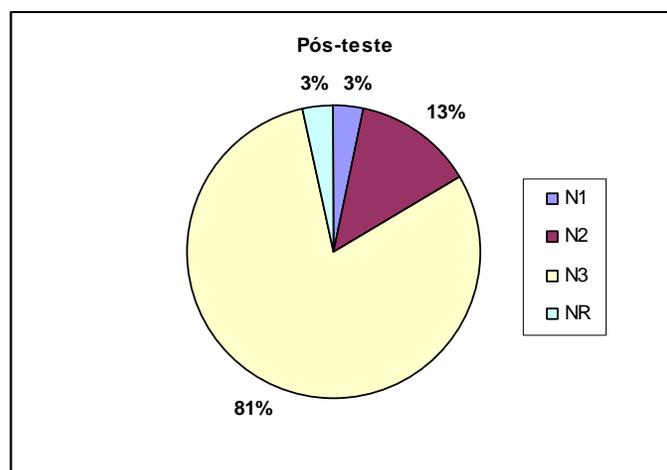


Gráfico 5.11: Distribuição de respostas do pós-teste para a questão do movimento de uma pedra abandonada próximo à superfície terrestre.



Vale a pena descrever um pouco mais as concepções manifestadas pelos alunos. Entre as concepções relacionadas ao nível 1, houve a situação representada por 4 alunos, no pré-teste, de que a pedra solta atravessaria a Terra e cairia na superfície diametralmente oposta. Isso indica que tais alunos não consideraram a ação da gravidade, um inclusive mencionou que “*a lonjura (quão longe) que a pedra chega depende da força que foi atirada*”. Já no nível 2, tivemos a situação de 2 alunos que fizeram uma representação mista: as pedras lançadas na metade superior da Terra caem na direção do centro (e para baixo), enquanto as pedras lançadas no hemisfério inferior caem para baixo (para o espaço...). A partir desse padrão de resposta, observamos que esses alunos sabem que a Terra é redonda, mas não associam essa informação à ação gravitacional. Esse resultado está de acordo com o que foi encontrado em trabalhos anteriores sobre o tema, como o de Barrabin (1995). Isso reforça a idéia de que a idéia de gravidade e forma da Terra são subsunçores necessários à compreensão dos fenômenos astronômicos, portanto, são conceitos que devem ser trabalhados anteriormente. Por mais que pareçam triviais, do ponto de vista de quem já domina o tema, podem constituir obstáculos epistemológicos importantes na aprendizagem de temas um pouco mais avançados se não forem bem estabelecidos em nível cognitivo.

A terceira questão, proposta originalmente por Nussbaum (1979), solicitou que os alunos fizessem a previsão de qual é a trajetória, e onde iria parar, ou se iria parar, uma pedra lançada através de túneis que atravessassem toda a Terra passando pelo centro. Na primeira situação, o túnel é vertical e na segunda, horizontal. Embora a situação seja de realização impossível, é um interessante experimento de pensamento, pois alia conceitos relacionados à ação da gravidade e a descrição do movimento da pedra em cada etapa⁶. A resposta esperada é que a pedra cai em movimento acelerado até o centro da Terra, mas devido à alta velocidade que tem nesse ponto, apesar da gravidade nula, sobe até a outra extremidade do túnel em movimento retardado. Se nada detiver a pedra, ela ficaria nesse ziguezague devido à atração gravitacional da Terra e dirigida sempre para seu centro, independente da direção de abertura do túnel. No entanto, também foi considerada como resposta aceitável, no nível 3, aquela que prevê que a pedra consegue atingir o outro lado mas pára na borda do túnel.

⁶ Uma análise mais completa do problema implicaria conhecer o teorema das cascas esféricas de Newton, que demonstra porque g é zero no centro da Terra. Porém, pode ser feita uma análise, com os alunos, a partir da variação de velocidade da pedra ao longo do túnel conforme o sentido de movimento: “do centro para a superfície ou da superfície para o centro”.

Como respostas típicas do nível 1, tivemos desenhos, aliados a argumentos, que mostram que a pedra atravessa o túnel e segue, ou que cai até que algo a detenha. Um percentual de 57% dos alunos deu esse tipo de resposta no instrumento inicial, o qual reduziu para 7% após a aplicação do curso. Para ilustrar, apresentamos a figura 5.4, característica de uma aluna com raciocínio que enquadramos no nível 1, tanto para o caso do túnel vertical quanto do horizontal.

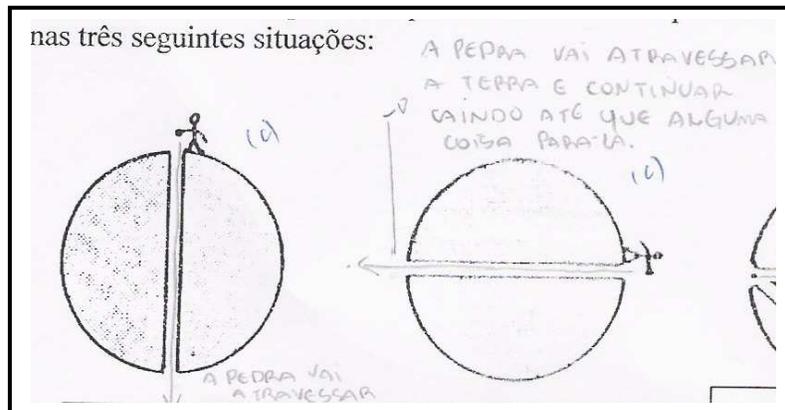


Figura 5.4: Representação de uma aluna para o comportamento de uma pedra em túneis que atravessam a Terra. A observação feita pela aluna junto ao desenho diz o seguinte: “A pedra vai atravessar a Terra e continuar caindo até que alguma coisa pará-la”.

Nesse nível, um dos raciocínios que apareceu, e que está relacionado às concepções de força e movimento, foi o de que a pedra “*não atravessa totalmente o túnel*”, ou “*fica no começo*”, ou “*pára a $\frac{3}{4}$ do início*”, porque está “*sem força para empurrá-la*”, ou porque “*a força acaba logo*”. Esse tipo de argumento foi menos freqüente na situação do túnel vertical, provavelmente porque o movimento vertical soa mais natural, enquanto o horizontal, segundo uma concepção aristotélica, exige força para acontecer.

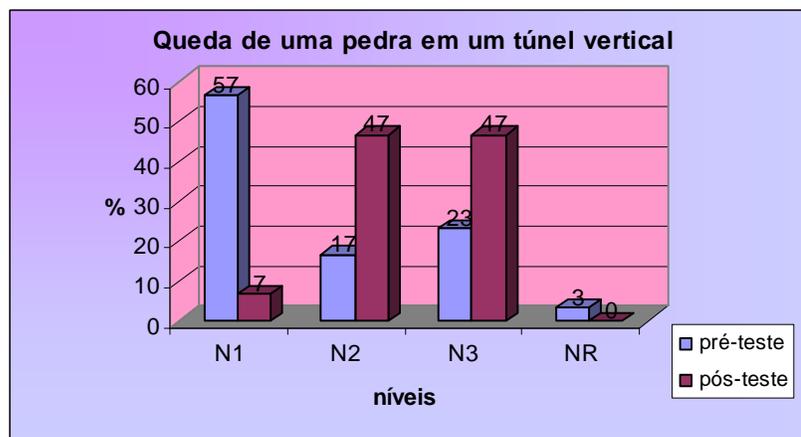
Esse tipo de argumento confirma que há conexão cognitiva entre os modelos teóricos dos estudantes para força e velocidade e os fenômenos envolvendo o caráter cósmico da Terra. Na medida em que não reconhecem, ou pelo menos não generalizam a ação gravitacional, têm que recorrer à idéia de uma força distinta da gravidade, exercida sobre o objeto que atravessa o túnel. Assim, o não reconhecimento da gravidade é um obstáculo epistemológico a ser trabalhado, já que vários alunos não percebem que é a gravidade que faz com que os corpos se fixem à Terra e sempre caiam em direção ao seu centro. Outro obstáculo, que já apareceu na unidade 1 e que reaparece agora, é de que o alcance da pedra no túnel vai depender da intensidade ou da duração

da força com que a pedra foi lançada, idéia errônea baseada no paradigma aristotélico. Nosso material de apoio e as aulas desenvolvidas tiveram em vista esses obstáculos. Procuramos identificar e discutir alguns pressupostos apoiados na teoria aristotélica, com o intuito de ajudar os alunos a perceberem que há outro referencial teórico, que descreve corretamente as forças e interações nos limites da mecânica clássica. Também relacionamos a forma da Terra à ação gravitacional e, por sua vez, relacionamos essa ação a alguns fenômenos que são explicados a partir da existência de forças e campos gravitacionais.

Já no nível 2, encontramos como representações típicas os casos em que a pedra pára no centro da Terra, raciocínio provavelmente fundamentado na informação de que nesse ponto a gravidade é nula. Curiosamente, o percentual de alunos que se enquadram nesse nível aumenta no pós-teste – de 17% para 47% -, provavelmente numa migração de alunos que anteriormente estavam no nível 1, já que neste nível o percentual sofreu redução.

O percentual de alunos que responderam corretamente a questão subiu de 23% para 47%. Aceitando a idéia de que no nível 2 os alunos fizeram uso da noção de gravidade, ainda que parcial, ou a usaram corretamente, mas não a relacionaram como um fator de mudança na velocidade da pedra, respostas dadas de acordo com esse nível estariam representando alguma evolução conceitual. Nessa ótica, conclui-se que a maioria da turma assimilou a noção de gravidade ou potencializou seu significado. O gráfico 5.12 mostra os perfis de respostas da turma 1N1 por níveis, e compara os resultados antes do curso de astronomia e depois.

Gráfico 5.12: Situação hipotética de um túnel vertical que atravessa a Terra.



Para a situação do túnel horizontal, o padrão de respostas é bem similar. Como pode ser visto no gráfico 5.13, o percentual de alunos que responderam de acordo com o nível 1 reduz de

57% para 10% entre o pré e o pós-teste, enquanto sobe de 23% para 47% o percentual de alunos no nível 2. Essa categoria de pensamento estaria sinalizando que, em alguma medida, os alunos investigados estão fazendo uso da noção de gravidade, embora não de maneira completa ou correlacionada com outros fatores. Por outro lado, dobra o número de alunos que passam a responder corretamente a questão.

Gráfico 5.13: Situação hipotética de um túnel horizontal que atravessa a Terra.



Outro questionamento que propusemos aos alunos foi quanto à queda de dois objetos de mesma forma e tamanho, mas de materiais diferentes (ferro e madeira). Inicialmente, 47% da turma responderam que a esfera de ferro chega antes ao solo, porque é mais pesada, tem mais massa. Dois alunos não responderam e outros 14 (47%) previram corretamente que ambas chegariam praticamente juntas ao solo. Apresentaram argumentos tais como: a gravidade que age nos dois é a mesma, o peso não influencia, caem juntas porque a resistência do ar é desprezível. Durante as aulas, fizemos pequenas demonstrações da queda de objetos com formas idênticas, formas diferentes, pesos iguais e formas diferentes (folha de papel aberta ou amassada), para destacar quais aspectos são relevantes na queda dos corpos. Provavelmente, a visualização de que o fator que faz com que a queda seja diferente é a intensidade da resistência do ar tenha ajudado os alunos a melhorarem significativamente sua análise posterior à mesma questão. Do total da turma, dois alunos ainda responderam que a esfera de ferro chega antes ao solo, enquanto os demais responderam que ambas chegam praticamente juntas.

Nossa estratégia de trabalho para os conceitos estruturantes - forma e gravidade da Terra - já foi descrita no Capítulo 4. No entanto, queremos ratificar que, inicialmente, fizemos um

resgate quanto às concepções históricas para a forma da Terra e depois relacionamos a forma esférica à ação gravitacional, pois essa forma é a disposição que agrupa de maneira uniforme e eqüidistante todas as partículas que constituem um corpo e que se atraem mutuamente. Como esperávamos, no princípio os alunos demonstraram que não associavam as duas coisas; objetos soltos na metade inferior da esfera terrestre caem e outras concepções do gênero confirmaram nossa hipótese. Trabalhamos, então, com a noção de forças e campos gravitacionais e as diferentes manifestações práticas dos mesmos. Entre essas aplicações, destacamos a forma da Terra, a órbita de satélites, as marés oceânicas, entre outros. A seguir, apresentaremos algumas representações e idéias dos alunos quanto à forma da Terra, e poderemos verificar, como já afirmado nos estudos consultados, que as idéias referentes aos dois conceitos estão intimamente relacionadas.

Como atividade inicial, os alunos tiveram que representar a Terra como vista do espaço e situar pessoas vivendo nela, além de posicionar nuvens e desenhar chuva caindo. A seguir, alguns desenhos produzidos pelos alunos nessa atividade (figuras 5.5 e 5.6). Já ao final da atividade, e à medida que fomos acompanhando a realização dos desenhos, fizemos um questionamento oral sobre qual é a forma da Terra. Constatamos que todos sabiam que a Terra é redonda. Por outro lado, porém, previmos que essa informação correta poderia estar mascarando idéias errôneas, como a de que a Terra é redonda como um disco, e não relacionada à ação gravitacional. Assim, nas atividades de diagnóstico de idéias, optamos em investigar que significados os alunos estavam atribuindo a essa informação.

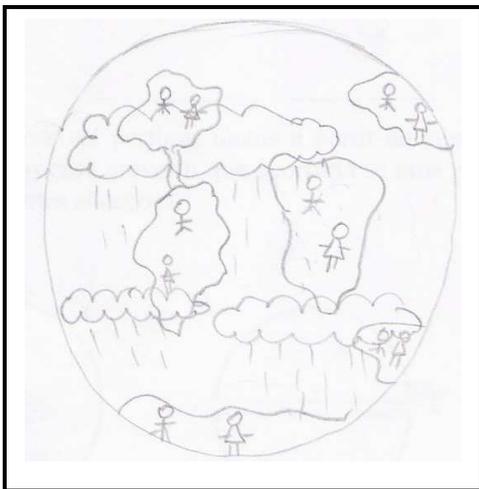


Figura 5.5: visão da Terra relacionada ao nível 2.

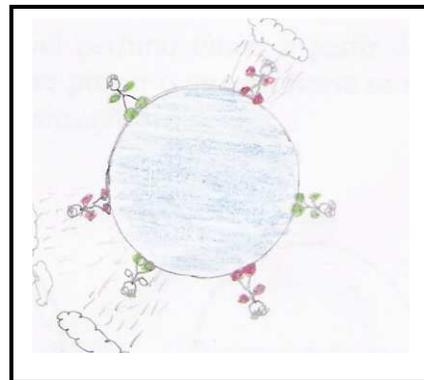


Figura 5.6: visão da Terra relacionada ao nível 3

Uma questão com esse objetivo propôs que os alunos analisassem duas imagens da Terra⁷ e respondessem: por que a Terra é plana na primeira figura e redonda na segunda? As respostas dadas foram distribuídas em três níveis. No nível 1, estão os alunos que disseram que a Terra é redonda como um prato ou disco, parecendo redonda quando se está acima dela, mas parecendo plana quando você está sobre ela. Nitidamente, essa resposta está apoiada na idéia, ingênua, de que só é possível ficar sobre a Terra porque ela é plana, só é redonda nas extremidades. Não é vista como um corpo cósmico, um planeta, um corpo tridimensional, mas como um objeto em duas dimensões. Essa concepção provavelmente está fundamentando as respostas do nível 1 que encontramos para a gravidade, que as coisas caem para baixo se não tiverem onde se apoiar.

No pré-teste, 43% dos alunos responderam de acordo com idéias relacionadas a esse nível. Na avaliação final, apenas 10% mantiveram suas respostas nesse padrão. O nível 2 representa a idéia de que a Terra é redonda como uma bola, mas as pessoas vivem nas partes planas, no centro dela. Em torno de 13% da amostra (4 alunos) deram essa resposta à questão, índice que permaneceu igual na atividade de avaliação final. Por fim, 40% dos alunos no pré-teste já indicaram que a Terra é redonda como uma bola, mas parece plana por que nós a vemos apenas parcialmente. Na avaliação final, 74% dos alunos assumiram essa concepção para responder a questão. Essa distribuição de respostas está de acordo com o encontrado em trabalhos similares. Também encontramos grupos de alunos que não associam a forma da Terra à gravidade, ou que só admitem ser possível viver nos locais planos ou nas partes superiores do planeta.

Esses níveis de resposta merecem mais alguma discussão, pois como prevíamos, o conhecimento aparentemente correto dos alunos sobre a forma da Terra pode mascarar interpretações ou visualizações equivocadas. Outra dificuldade conceitual reconhecida é que a perspectiva com a qual nos familiarizamos e convivemos é de Terra plana. Assumi-la como esférica implica uma visão topocêntrica, descentrada das experiências diárias, uma certa transposição de referenciais e de pontos de vista. Parker e Heywood (1998) já apontaram, em seu estudo sobre o tema, que a dificuldade pode estar em decidir em que aspectos ou fenômenos a forma esférica da Terra é um fator relevante. Assim, nosso objetivo foi o de ajudar os futuros professores a refletir melhor sobre suas noções sobre a Terra e melhorá-las, bem como auxiliá-los a construir a percepção de que há fenômenos, vários deles trabalhados em nível de séries iniciais, que exigem a alusão à forma da Terra para sua correta explicação. Portanto, é importante que eles

⁷ Ver Anexo 3, questão 5 (página 108) .

tenham clareza conceitual quanto a esses aspectos, e foi com essa intenção que trabalhamos. A melhora dos índices entre o pré e o pós-teste indica que a abordagem desses conceitos, como proposta em nosso curso, foi apropriada para a aprendizagem significativa quanto à noção de Terra cósmica.

Entendemos que as diferentes atividades que desenvolvemos, entre elas as leituras sugeridas, o fórum de discussão no TelEduc sobre a forma da Terra, o uso de softwares que permitem comparar o céu visível em diferentes latitudes, tiveram sua parcela de contribuição para que esses estudantes melhorassem sua compreensão sobre a forma e a gravidade terrestre. Por outro lado, as atividades práticas de observar e comparar a altura das sombras em diferentes épocas do ano e em diferentes posições de uma esfera (demonstração com bola de isopor e alfinetes coloridos) auxiliaram na percepção de que certos fenômenos exigem a referência à forma esférica da Terra para serem explicados. Concluída essa etapa, passamos ao estudo dos fenômenos astronômicos simples e à descrição da forma como avaliamos a aprendizagem dos estudantes nesse aspecto.

5.3 Evolução da aprendizagem de fenômenos astronômicos cotidianos

5.3.1. Dias e noites e rotação terrestre

Como já mencionamos, o fenômeno dos dias e das noites foi o que registrou melhor índice de explicação adequada, tanto nas atividades diagnósticas quanto nas atividades avaliativas. Na análise dos desenhos solicitados (quadro do Apêndice 10) e das respostas propostas às questões mencionadas à página 59-60, encontramos as seguintes categorias de respostas:

Nível 1 – nível meramente descritivo: 17% dos alunos. Nesse nível, enquadraram todas as respostas que apenas descreveram a ocorrência de dias e noites, relacionando a noite às regiões não iluminadas e o dia às regiões iluminadas pelo Sol, sem nenhuma menção ao porquê desse fato.

Nível 2 - 10% dos alunos inicialmente atribuíram os dias e as noites ao movimento da Terra em torno do Sol. Referiram-se, por exemplo, ao giro da Terra em torno do Sol, ou mencionaram diretamente a translação, em 24 horas, como a causa dos dias e das noites.

Nível 3 – nesse nível, enquadrados os 23% de alunos que relacionaram os dias e noites ao movimento da Terra, ou então, ao seu giro, mas não especificaram que movimento é esse e nem deixaram claro que o giro fosse o movimento da Terra em torno de si mesma.

Nível 4 – 10% dos alunos que mencionaram a rotação, com duração de 24 horas, mas atrelaram a noite à presença/visibilidade da Lua no céu e o dia à presença do Sol. Isso revela, por um lado, o conhecimento adequado sobre a causa dos dias e das noites, mas por outro lado, demonstra certa inadequação do conhecimento, principalmente quanto à parte observacional e ao movimento orbital da Lua.

Nível 5 – o nível mais adequado, que explicita na descrição do fenômeno a rotação da Terra, no período de 24 horas, em torno de si mesma. Foram 40% dos alunos que assim se manifestaram quanto à ocorrência de dias e noites nas atividades de diagnóstico.

A seguir, incluímos alguns dos desenhos elaborados pelos alunos, a título de exemplificação dos níveis encontrados. (Figuras 5.7 a 5.9).



Figura 5.7: Representação de aluna no nível 3: refere-se ao movimento da Terra, mas não explicita qual.

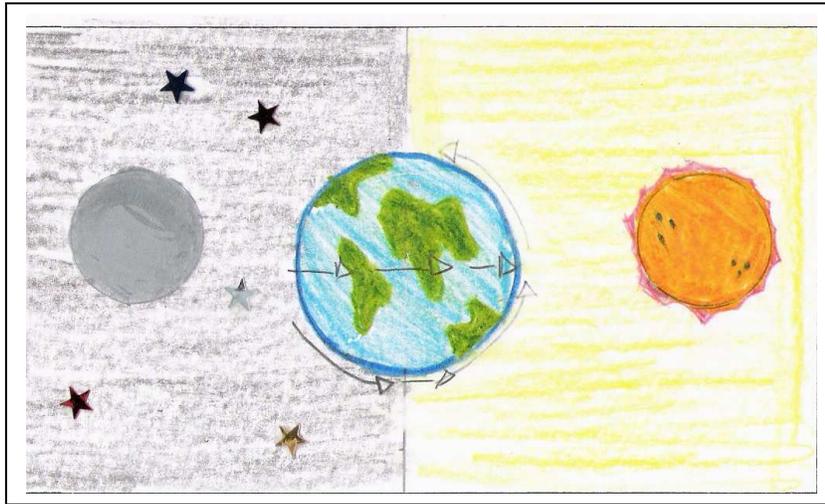


Figura 5.8: Esquema típico de aluno que se situa no nível 4 para explicar dias e noites, referindo-se ao fato de que “A Terra realiza o movimento de rotação; levando em conta isso, uma parte está voltada para o Sol, onde é DIA, e outra parte está voltada para a Lua, onde é NOITE”.

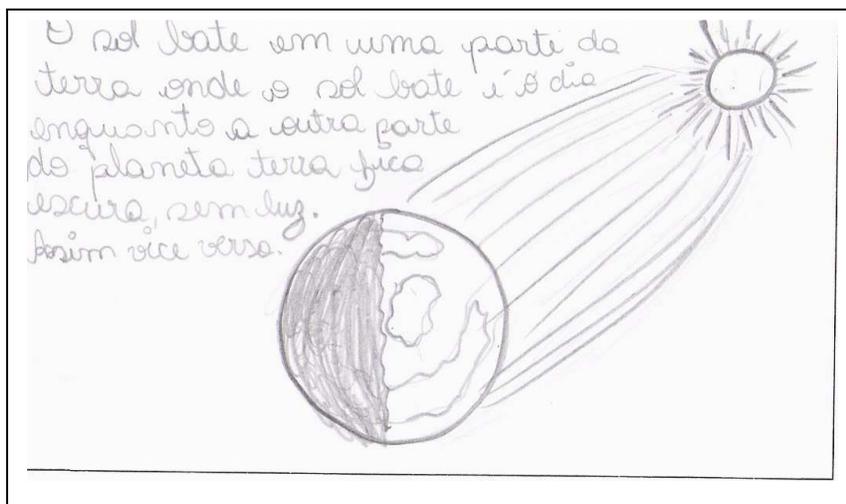


Figura 5.9: Representação de uma aluna enquadrada no nível 5, que referiu à rotação da Terra para explicar dias e noites. No texto complementar por ela produzido (que não aparece na figura) ela menciona: “é a rotação da Terra que faz o Sol iluminar sempre uma metade da Terra”.

Nossas estratégias para qualificar a compreensão dos alunos sobre o tema incluíram a realização de leituras, discussão em classe sobre o fenômeno dos dias e das noites, o uso de recursos audiovisuais, bem como realização de atividades de fixação e de avaliação. A título de comparação, no final do curso, não tivemos nenhum aluno que só descrevesse o fenômeno, sem explicá-lo (nível 1 = 0%). Outros três alunos (10%) permaneceram usando a ‘translação’ da Terra

em torno do Sol, em 24 horas, para explicar a ocorrência de dias e noites. Possivelmente, pode ter ocorrido uma confusão na fixação da nomenclatura dos movimentos, confusão essa que também percebíamos durante as aulas. Curiosamente, 17% (5 alunos) continuaram argumentando que “A Terra gira sobre si mesma, tendo o Sol e a Lua em lados opostos; quando se vê o Sol é dia e quando se vê a Lua é noite”. Ou seja, cresceu o percentual de alunos situados no nível 4 comparativamente aos dados iniciais. Isso pode permitir diferentes análises. Uma delas é a de que os alunos que antes só descreviam o fenômeno agora o relacionam à rotação, indicando que incorporaram algum conhecimento à sua estrutura cognitiva, mas por outro lado, revela que ainda faltam elementos para que esse conhecimento atinja o patamar mais desejável, já que ainda se apegam, inadequadamente, à relação entre a visibilidade do Sol ou da Lua, para caracterizar o dia ou a noite. Por fim, tivemos um aluno⁸ que não respondeu à questão no final do período letivo (3%), enquanto 70% deles associaram corretamente os dias e as noites ao movimento de rotação terrestre.

Nos parece que esses resultados estão de acordo com a análise de Parker & Heywood (1998, p.515), de que o fenômeno dos dias e das noites é o de mais fácil argumentação e assimilação, visto que requer menos construtos anteriores e menos relações entre diferentes fatores para ser adequadamente explicado.

5.3.2. Estações do ano e o movimento de translação

Nossa estratégia para avaliar as idéias iniciais sobre a causa das estações do ano foi similar à adotada para investigar os outros fenômenos trabalhados. Os alunos pronunciaram-se tanto por escrito quanto através de esquemas representativos. Quanto a esse assunto, propusemos duas questões investigativas, com o objetivo de diagnosticar concepções prévias, para as quais apresentamos, a seguir, os principais grupos de respostas coletados.

A primeira questão propunha que os alunos da turma 1N1 explicassem por que no verão os dias são mais longos e, no inverno, mais curtos. Já a segunda questão, relacionada à primeira, solicitou que os alunos explicassem porque no verão faz calor e no inverno faz frio (pelo menos nas regiões temperadas do globo, como a nossa).

⁸ O mesmo já citado à pagina 13, deficiente auditivo.

O primeiro grupo de respostas a essas questões incluiu argumentos meramente descritivos, como “depende da posição do Sol”, ou então, respostas confusas que não se enquadram em outros níveis de argumentação, como “porque a Terra é oval”, ou “depende se o Sol está acima ou abaixo do horizonte”. Foram 6 alunos (20%) que assim se pronunciaram nas atividades de diagnóstico sobre as estações.

No segundo grupo de respostas, o argumento principal utilizado foi o da variação da distância Terra-Sol durante o movimento de translação para explicar as variações de temperatura e/ou de duração dos dias e das noites. Foram 26% (8 alunos) dos alunos usando essa noção de distância variável para justificar as estações. Cabe destacar que alguns deles mencionaram, conjuntamente, elementos observacionais, tais como maior ou menor altura do Sol, incidência mais direta ou inclinada dos raios solares, para explicar as variações sazonais, mas o fizeram conjuntamente à idéia de translação em uma órbita elíptica com excentricidade significativa.

Já o terceiro grupo de respostas usou principalmente o argumento da inclinação da Terra ou do Sol. Esse foi o maior grupo, com 10 alunos (33% dos alunos). Pelas respostas apresentadas, percebemos que esse elemento está bastante presente no conhecimento anterior dos alunos. Porém, deste total, somente 6 alunos foram explícitos em citar que é a Terra que está inclinada em relação ao Sol; ou, então, que sua órbita “ora está abaixo do Sol, ora está acima, e isso provoca dias mais curtos, quando o Sol está mais baixo no horizonte, e dias maiores, quando o Sol está mais alto”, conforme palavras transcritas de uma aluna. Os demais falaram mais na “mudança de altura do Sol”, e que isso muda “tanto a distribuição de energia sobre a superfície quanto a duração do dia”.

Por fim, o quarto grupo de alunos (21%), o que consideramos apresentar o nível mais adequado de explicação para o fenômeno das estações, já se referiu conjuntamente ao movimento de translação e à inclinação da Terra em relação ao plano de sua órbita para justificar esse fenômeno. Uma idéia para exemplificar: “Enquanto a Terra anda ao redor do Sol, como ela está inclinada, há épocas em que os raios chegam mais perpendiculares, com mais intensidade, e aí sentimos mais calor e os dias são mais compridos. Nas outras épocas, o Sol bate mais inclinado, há menos energia e por isso sentimos frio.”

Depois dessas idéias iniciais diagnosticadas, apresentaremos os grupos de idéias da mesma turma após o estudo do tema das estações. Já descrevemos, no capítulo anterior, as estratégias desenvolvidas para aprofundamento do tema, mas destacamos as principais: o assunto

foi estudado por dois grupos e apresentado aos demais; houve a realização de leituras a partir do texto de apoio que é o nosso produto. Um dos grupos também fez uma demonstração com globo terrestre e fonte de luz (figura 4.10, Cap. 4 desta dissertação). A turma também realizou um trabalho de leitura e pesquisa sobre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico, que foi discutido em aula e entregue por escrito. Após essas ações, e como culminância de nosso estágio, coletamos as novas opiniões da turma sobre o fenômeno, a partir de instrumento escrito que constituiu nossa avaliação sobre a última parte do estágio (fenômenos astronômicos simples).

Nessa avaliação final, encontramos que 60% dos alunos (18 alunos) se referiram corretamente ao movimento de translação e à inclinação da Terra em relação ao Sol para explicar o fenômeno das estações. Isto é, houve um crescimento importante que pode ser interpretado como uma melhor compreensão do fenômeno a partir das atividades realizadas durante o curso. Por outro lado, 13% do grupo ainda optaram pela significativa variação da distância Terra-Sol durante um ano como a causa das estações. Nesse modelo em particular, percebemos uma redução de 50% no número de alunos que usavam a noção de distância entre a Terra e o Sol como o motivo das estações comparativamente ao início do estudo.

Um grupo de 6 alunos (20%) permaneceu utilizando basicamente o fator da inclinação do eixo de rotação terrestre, não agregando, ainda, o movimento de translação à sua estrutura mental. Por fim, 1 aluno (3%) não respondeu ao instrumento de avaliação no final do curso e mais um aluno (3%) citou apenas o movimento de translação.

De maneira geral, percebemos que houve alguma evolução conceitual dos alunos sobre o tema. Queremos lembrar que o mesmo foi trabalhado já no final do estágio e, portanto, muito próximo ao final do ano letivo. Não foram aprofundados aspectos observacionais ou as mudanças sazonais, mas sim procuramos relacionar um fenômeno que faz parte da nossa rotina, e que é da nossa convivência diária, aos fatores físicos que o provocam, por acreditar que esse conhecimento é necessário na atuação de um professor que atuará nas Séries Iniciais. No nosso papel de mediação, por um lado, destacamos que o movimento orbital da Terra em torno do Sol é um dos fenômenos produzidos pelas forças gravitacionais, assunto que já tínhamos discutido em outros momentos do estágio. Por outro lado, fomos contrastando as idéias e significados apresentados pelo grupo e comparando-os àqueles construídos ao longo da história da ciência. Enfim, pela abordagem metodológica que adotamos, os assuntos se entrelaçam e foram

‘revisitados’ em diferentes momentos do curso aplicado, para destacar as conexões conceituais entre os diferentes aspectos e fenômenos estudados.

Quanto ao estudo dos fenômenos relacionados à Lua (fases e eclipses), optamos em não estabelecer comparativos entre atividades de diagnóstico e de avaliação, por que tais temas foram abordados de maneira mais rápida, já ao final do curso. Quanto aos eclipses, já havíamos desenvolvido um fórum de discussão no TelEduc, motivado pela ocorrência de um eclipse parcial do Sol em setembro/2006. Também houve a apresentação desses assuntos à turma por quatro grupos de estudos, conforme já descrevemos no capítulo 4. Nessas apresentações, que foram bastante participativas, percebemos que os alunos incorporaram elementos do modelo científico às suas explicações, como as interações gravitacionais, a forma arredondada dos astros, para descrever as fases lunares e os eclipses. Assim, percebemos que os conceitos aos quais atribuímos o papel de “subsunçores” contribuíram para a compreensão de temas um pouco mais complexos.

Enfim, cabe-nos destacar que, durante esses estudos e as apresentações, nossa mediação foi sempre no sentido de enfatizar os conceitos já estudados, como forças e campos gravitacionais, forma da Terra, para explicar aspectos observáveis a partir de nossa ‘casa cósmica’. Por exemplo, a sombra da Terra se projetando na Lua cheia, durante um eclipse lunar, tem traçado arredondado porque essa é a forma da Terra, que é quem está interceptando total ou parcialmente a luz solar. Por outro lado, as diferentes feições da Lua observadas a partir da Terra requerem a conjugação de movimentos do sistema Sol-Terra-Lua para serem explicadas, e isso foi demonstrado, de maneira simples, durante as aulas, conforme relatado no capítulo 4.

A seguir, passaremos às considerações finais sobre o trabalho desenvolvido em nosso estágio curricular do Mestrado Profissional em Ensino de Física e que resultou nessa dissertação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação apresentou nossas motivações, nossos objetivos, o referencial teórico que nos fundamentou para desenvolver o estágio curricular do Mestrado Profissional na área de ensino de Astronomia voltado à formação de professores. Por outro lado, descreveu a metodologia desenvolvida e analisou alguns resultados observados a partir das vivências do estágio e das estratégias de avaliação ali empregadas. Por fim, cabe-nos retomar os aspectos mais relevantes dessa longa jornada e tecer algumas considerações, com o objetivo de avaliar o que foi desenvolvido e também de sugerir novas linhas de trabalho e de pesquisa que envolvam a prática docente. Primeiramente, faremos as considerações relacionadas ao desenvolvimento do estágio e aos objetivos que nos propusemos atingir. Após isso, faremos uma avaliação mais pessoal quanto às vivências que tivemos ao longo de todas as etapas do Mestrado Profissional e ao crescimento conquistado nesse período.

No curso de Astronomia que implementamos, optamos por uma abordagem conceitual em que a Terra é apresentada como corpo cósmico. Fizemos essa opção fundamentando-nos na necessidade de desenvolver os conceitos básicos para os estudantes, que os capacitassem a aprender, de maneira mais significativa, tais conceitos com níveis de complexidade crescentes. Fizemos essa opção metodológica de acordo com diversos trabalhos de referência consultados, conforme descrito no capítulo 2, e avaliamos que a metodologia se mostrou coerente e eficaz frente aos nossos objetivos iniciais.

Um desses objetivos foi desenvolver noções básicas de conhecimentos físicos que um professor de séries iniciais tem necessidade de dominar para desenvolver seu trabalho adequadamente. Complementarmente, tivemos também como objetivo que os futuros professores vivenciassem um processo de ensino-aprendizagem coerente com os pressupostos construtivistas, em que interagissem com o objeto do conhecimento e tendo o professor um papel de mediador, incentivador e facilitador. Isso se justifica por ser esse o papel que se espera dos professores: propor maneiras mais criativas, mais atraentes e, portanto, mais eficazes de promover a aprendizagem significativa dos estudantes. Por isso, ao longo do curso oferecido, procuramos pôr em prática, aquilo que julgamos ser indispensável à formação atual de professores, qual seja, a conexão teoria-prática, o desenvolvimento do que hoje é reconhecido como o conhecimento

pedagógico do conteúdo. Frente a esses objetivos, podemos apresentar algumas razões para justificar que, em boa medida, o curso planejado e aplicado colaborou para o alcance dos mesmos.

A opção de iniciar o curso com noções básicas de dinâmica se mostrou válida, entre outros motivos, pelo fato de que, por um lado, evitou-se iniciar com a cinemática, um assunto muito matemático, de reduzido conteúdo físico, e que invariavelmente desestimula os estudantes para a física; por outro lado, a dinâmica possui um caráter mais estruturador com respeito ao fenômeno do movimento. Tal opção também se mostrou fundamental para nossa estratégia porque, para desenvolver uma visão física da Terra, são necessárias as noções de campos e de forças gravitacionais. Portanto, o que chamamos no nosso relato de “Unidade Introdutória” contribuiu para a implementação da unidade didática de Astronomia propriamente dita, como esperávamos.

A abordagem do conceito de forma da Terra e de sua gravidade também se mostrou importante para a aprendizagem dos alunos, futuros professores, na medida em que são conceitos subsunçores nos quais se ancoram novas aprendizagens, na perspectiva ausubeliana. De fato, autores aos quais já nos referimos defendem essa opção e, ao avaliar nosso curso, através de alguns resultados apresentados no capítulo anterior, verificamos que a adoção dessa abordagem foi um fator decisivo para a evolução da aprendizagem no conjunto da turma 1N1.

O fato de termos elaborado um curso que começa com noções introdutórias e se estende até o estudo de alguns fenômenos astronômicos simples implicou que o estágio ocorresse por um período temporal relativamente longo. Por um lado, isso favoreceu a que fizéssemos a necessária retomada de conceitos, em diferentes contextos e situações, superando em boa medida a abordagem linearizada ou mesmo anacrônica de temas que estão essencialmente conectados. Por outro lado, o uso de metodologias que envolvem uma participação maior dos estudantes também consome mais tempo, todavia é, certamente, mais produtiva. Em nossa opinião, esse é um dos aspectos que temos de reconsiderar em nossa prática docente futura. Se realmente quisermos melhorar o ensino de física e o ensino de modo geral, temos de aceitar o desafio de alterar a ‘seqüência’ habitual dos conteúdos e vivenciar mais situações de interação e de mediação entre os estudantes e o professor.

Em nosso entendimento, a experiência do curso introdutório em Astronomia foi especialmente marcante para os alunos da turma 1N1, na qual o mesmo foi aplicado. Podíamos

perceber, em suas atitudes e manifestações orais ou escritas, o interesse em participar, a alegria com a superação dos desafios, com as novas aprendizagens. Sempre destacávamos para eles que ensinar-aprender deve ser um processo prazeroso, tanto para o professor quanto para os alunos. Portanto, avaliamos que o trabalho que desenvolvemos ao longo de 56 horas-aula, de setembro de 2006 a janeiro de 2007, contribuiu efetivamente para que esses futuros professores tivessem uma vivência de aprendizagem diferenciada e iniciassem um processo de reflexão sobre seu futuro papel de educadores.

Queremos destacar que nosso texto de apoio, para ser aplicado e desenvolvido na íntegra, envolveria uma carga horária maior. Portanto, no nosso estágio, ele foi aplicado apenas parcialmente. Tal opção foi intencional; ao planejarmos o material, já tínhamos em mente que poderia ser aplicado apenas parcialmente. Isso nos permite sugerir que, nos cursos de formação de professores, é preciso se designar uma carga horária maior para as disciplinas de formação em ‘conteúdo’, nas quais se pode e se deve incluir vivências e discussões metodológicas para a formação integral do professor. Pensamos que esse seja um caminho viável para superar o contexto que apresentamos no início dessa dissertação; são pouco eficazes disciplinas metodológicas separadas conceitual e cronologicamente daquelas que desenvolvem a formação em ‘conteúdo’. Precisam ser incentivadas, divulgadas e analisadas iniciativas que proponham essa aproximação, tanto na formação em nível médio quanto superior.

Para concluir, quero registrar o quanto foi importante a experiência do Mestrado Profissional em Ensino de Física na nossa formação e na nossa vida. Para mim, que não fiz a graduação na UFRGS, foi ao mesmo tempo um processo de conquista, de superação, mas acima de tudo um grande ‘presente’ recebido, que eu valorizo a cada momento e a cada oportunidade. Sou aluna da turma de 2004. Concluí com êxito todas as disciplinas, até 2005. Passei na proficiência de Inglês na primeira tentativa, o que também foi uma conquista e um desafio que só o Mestrado poderia me exigir. Fiz o estágio curricular obrigatório no 2º semestre de 2006 e ‘gastei’ todo o ano de 2007 e o início de 2008 para concluir essa dissertação. Dificuldades de várias ordens, desmotivação em alguns momentos, mas desistir nunca!!! Demorei, mas aqui estou, concluindo mais essa etapa, esse gigantesco desafio.

É com muita emoção que o faço, com a sensação do dever cumprido, com um agradecimento especial à UFRGS e a tudo que ela representa. Especialmente, meu sincero

reconhecimento, toda minha admiração e profundo respeito aos meus orientadores, professor Trieste Freire dos Santos Ricci e professora Maria de Fátima Oliveira Saraiva.

REFERÊNCIAS

ARGÜELLO, C. A.; NEVES, M. C. D. *Astronomia de Régua e Compasso: de Kepler a Ptolomeu*. 2. ed. São Paulo: Papirus, 2001.

BARRABIN, M. J. Pourquoi hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Ensenanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 13, n. 2, p. 227-236, 1995.

BAXTER, J. Children's Understanding of Familiar Astronomical Events. *International Journal of Science Education*, London, v. 11, n. 5, p. 502-513, 1989. Special issue.

BRUTTI, D. S.; COLLETO, N. M.; OLIVEIRA, G. O. Influência dos Conceitos Intuitivos na Formação dos Conceitos Formais, na Relação entre Movimento e a 2ª lei de Newton. *Scientia*, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 59-79, 2000.

BURACOS NEGROS. Animação gif. Disponível em:
<http://casa.colorado.edu/~ajsh/bhi_gif.html>. Acesso em: 12 nov. 2006

CAMINO, N. Ideas previas y cambio conceptual em astronomia. Um estúdio com maestros de primaria sobre el dia y la noche. Las estaciones y las fases de la luna. *Ensenanza de Las Ciencias*, Barcelona, v. 13, n. 1, p. 81-96, 1995.

CYBERSKY. Software de Visualização e Simulação da Configuração do Céu. Disponível em:
<http://www.cybersky.com/free_trial_version.htm>. Acesso em: 20 jul. 2007.

EARTH VIEW. Imagens da Terra. Disponível em: <<http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth/>>. Acesso em: 27 jul. 2008.

HARRES, J. B. S. Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 89-101, maio/ago. 2002.

HARRES, J. B. S.; KRUGER, V. O Conhecimento dos Professores sobre o Conhecimento dos Alunos: o caso das concepções sobre o formato da Terra. In: CONFERÊNCIA INTERAMERICANA SOBRE EDUCAÇÃO EM FÍSICA, 7., 2000, Porto Alegre. *Atas* [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2000. p. 1-11.

LEBOUEF, H. A.; BORGES, A. T. Conexões entre Gravidade, Terra e Interação à Distância na Construção de um Modelo de Mundo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos, SP. *Atas* [recurso eletrônico]. Florianópolis: Clicdata Multimídia, 1999. p. 01-06.

LE PENDALE de Foucault. Disponível em: <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html>>. Acesso em: 27 jul. 2008.

MARÉS. *Animação em Gif*. Disponível em: <http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/tide06a_450.gif>. Acesso em: 13 jul. 2007

MARTÍNEZ-SEBASTIÀ, B. La enseñanza /aprendizaje del modelo sol-tierra: análisis de la situación actual y propuesta de mejora para la formación de los futuros profesores de primaria. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, Limeira, n. 1, p. 7-32, 2004. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~foton/relea/num1/A1%20n1%202004.pdf>>. Acesso em: 04 de abril de 2006.

MORAES, A. M.; MORAES, I. J. Avaliação Conceitual de Força e Movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 2. p. 232-246, jun. 2000.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental*. Porto Alegre: Editora da Universidade/ UFRGS, 1999.

NARDI, R.; CARVALHO, A. M. P. Um Estudo sobre a Evolução das Noções de Estudantes sobre Espaço, Forma e Força Gravitacional do Planeta Terra. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 132-144, ago. 1996.

NAVARRETE, A. S. Una experiencia de aprendizaje sobre los movimientos relativos del sistema “Sol/Tierra/Luna” em el contexto de la formación inicial de maestros. *Investigación em la Escuela*, Sevilha, n. 35, p. 5-20, 1998.

NUSSBAUM, J. Children’s Conceptions of the Earth as a Cosmic Body: a cross age study. *Science Education*, New York, v. 63, n. 1. p. 83-93, Jan. 1979.

OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. F. *Astronomia e Astrofísica*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br>> . Acesso em: 20 nov. 2007.

PARKER, J.; HEYWOOD, D. The Earth and Beyond: developing primary teacher’s understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 5, p. 503-520, June 1998.

PEDUZZI, L. O. Q. Física Aristotélica, por que não Considerá-la no Ensino da Mecânica? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n. 1. p. 48-63, abr. 1996.

REZENDE, F.; BARROS, S. S. Teoria Aristotélica, Teoria do Ímpetus ou Teoria Nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de física em mecânica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 43-56, jan./abr. 2001.

SHARP, J. G. Children's Astronomical Beliefs: a preliminary study of year 6 children in south-west England. *International Journal of Science Education*, London, v. 18, n. 6, p. 685-712, Sept. 1996.

SILVEIRA, F. L. da; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um Teste para Detectar se o Aluno Possui a Concepção Newtoniana sobre Força e Movimento. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 38, n. 12, p. 2047-2055, dez. 1986.

SNEIDER, C. I.; OHADI, M. M. Unraveling Students' Misconceptions about the Earth's Shape and Gravity. *Science Education*, New York, v. 82, n. 2, p. 265-284, Apr. 1998.

TRANSLAÇÃO da Terra e Momentum Angular. Disponível em:

<<http://www.shermanlab.com/science/physics/mechanics/EarthSun.php>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

ANEXOS

Anexo 1

**Plano de Estudos da disciplina de Física do Curso Normal
Colégio Estadual Presidente Castelo Branco Lajeado - RS**

FÍSICA - 1º ANO CURSO NORMAL	
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	NÍVEL DE EXIGÊNCIA
Medidas de massa, comprimento e tempo.	<p>Aplicação na solução de problemas. Manipular medidas em atividades práticas. Uso adequado de instrumentos de medida como trenas, réguas, balanças, relógios e cronômetros. Transformar as principais unidades. Identificar quais são as unidades padrão no Sistema Internacional de Unidades (SI)</p>
Noções de cinemática: velocidade média e instantânea; aceleração; grandezas escalares e vetoriais.	<p>Distinguir grandezas físicas escalares de vetoriais. Relacionar o conceito de velocidade à idéia de rapidez dos movimentos, dada pela razão entre o deslocamento realizado por um móvel e o tempo gasto para isso. Ressaltar o caráter vetorial da grandeza velocidade, apesar das abordagens cotidianas se referirem apenas ao seu módulo (intensidade). Transformar velocidades expressas em metros por segundo ou metros por minuto para quilômetros por hora. Entender o conceito de aceleração como a taxa de variação da velocidade em função do tempo. Aplicar os conceitos discutidos na resolução de questões qualitativas e de problemas simples.</p>
DINÂMICA	
1ª Lei: princípio da inércia Força resultante nula e o equilíbrio mecânico.	<p>Associar a grandeza física massa com a medida da inércia de um corpo qualquer. Perceber que um corpo, sob resultante nula, está em equilíbrio mecânico e pode encontrar-se ou em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme Resolver situações problema simples, teóricas e práticas, utilizando a primeira lei de Newton.</p>
Força como interação; forças e seus efeitos; forças de contato e de ação à distância	<p>Distinguir forças de contato e de ação à distância. Compreender que a origem das forças é a interação entre dois corpos, no mínimo. Saber que as interações na natureza podem ser de quatro naturezas: elétrica, magnética, nuclear ou gravitacional. Aplicar os conceitos discutidos na explicação de situações cotidianas, experimentos e outros fenômenos. Aplicá-los também na resolução de problemas.</p>
2ª lei: Força resultante como geradora de aceleração. 3ª lei: ação e reação.	<p>Compreender que força resultante não-nula altera a quantidade de movimento linear de um corpo. Entender que a aceleração a que um corpo está submetido tem origem em uma força resultante diferente de zero. Resolver problemas simples aplicando a 2ª lei de Newton.</p>

	<p><i>Explicar situações cotidianas e descrevê-las no contexto das Leis de Newton.</i></p> <p>Discutir qualitativamente a terceira lei de Newton: exemplos práticos e aplicações.</p>
Leis de força: peso, normal, atrito, forças de tensão.	<p>Distinguir qualitativamente os tipos de força e sua origem.</p> <p>Aplicar essas leis na resolução de situações-problema simples.</p>
GRAVITAÇÃO UNIVERSAL	
<p>Campos gravitacionais e a força gravitacional.</p> <p>Variações de \vec{g} (campo gravitacional) em função das distâncias e das massas planetárias.</p>	<p>Entender a origem da força gravitacional.</p> <p>Identificar a equação que a descreve.</p> <p>Descrever fenômenos associados à gravidade, como órbitas planetárias e de outros astros, queda dos corpos, lançamentos e órbitas de satélites artificiais e foguetes.</p>
<p>Leis de Kepler:</p> <p>1ª: Lei das órbitas</p> <p>2ª: lei das áreas</p> <p>3ª: lei dos períodos</p>	<p>Conhecer as Leis de Kepler.</p> <p>Aplicar aos movimentos planetários (afélio e periélio no movimento de translação terrestre, duração do ano).</p> <p>Estimar o período e o raio orbitais dos planetas solares usando a 3ª lei.</p>
<p>Movimentos da Terra: rotação e translação, precessão.</p> <p>Interações da Terra enquanto corpo cósmico com outros astros do espaço sideral.</p>	<p>Associar o formato da Terra a seu campo gravitacional e aos seus movimentos.</p> <p>Aplicar os conhecimentos relativos aos movimentos dos astros para descrever e explicar a trajetória aparente do Sol e das estrelas, os dias e as noites, as coordenadas geográficas e astronômicas de latitude e longitude.</p> <p>Saber que a origem dos calendários e da medição do tempo está na periodicidade dos movimentos dos astros</p>
Constituição e estrutura do Sistema Solar.	<p>Conhecer as principais características do sistema Solar.</p> <p>Aplicar o conceito de força gravitacional na interpretação da estrutura do Sistema Solar.</p> <p>Entender eventos astronômicos com os quais temos experiência cotidiana a partir das interações entre corpos cósmicos: fases da lua e eclipses; dias e noites; estações do ano; nascer e ocaso (aparente) do Sol e das estrelas, fusos horários, sol da meia-noite, auroras austrais e boreais, vento sola e outros do interesse dos estudantes,</p> <p>Comparar os diferentes modelos representativos do sistema Solar com suas dimensões reais.</p> <p>Acompanhar as principais novidades da pesquisa espacial.</p>
Outras formações do Universo	<p>Distinguir e caracterizar formações cósmicas como constelações, galáxias, nebulosas, buracos negros.</p> <p>Descrever sucintamente meteoros, meteoritos, asteróides, cometas, estrelas, satélites.</p> <p>Distinguir entre astros luminosos e iluminados</p>

Anexo 2

Pré-teste sobre força e movimento

PRÉ-TESTE SOBRE LEIS DE NEWTON – DINÂMICA

Nome: _____ Nº: _____

Turma: _____ Data de aplicação: ____/____/200__

Objetivos:

Detectar as concepções dos estudantes sobre as relações entre força e movimento.

Associar suas concepções às concepções históricas apresentadas pela humanidade nesta área.

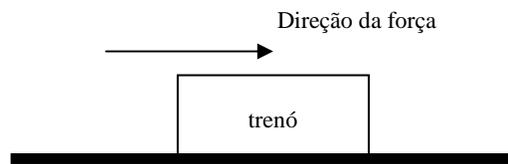
Promover discussões para evolução conceitual sobre força e movimento.

1. Um trenó descreve movimentos sobre o gelo de acordo com o que é descrito até a questão 7. O atrito é tão pequeno que pode ser desprezado. Uma pessoa com sapatos especiais aplica uma força sobre o trenó, colocando-o em movimento sobre o gelo. Escolha uma força, de acordo com as alternativas A a G, que corresponda ao movimento descrito pelas questões abaixo. Você pode usar a mesma alternativa (letra) para responder a mais de uma questão. Se você não concordar com nenhuma alternativa, de A a G, escreva J

A – A força é aplicada para a direita e sua intensidade está aumentando.

B – A força é aplicada para a direita e sua intensidade é constante.

C – A força é aplicada para a direita e sua intensidade está diminuindo.



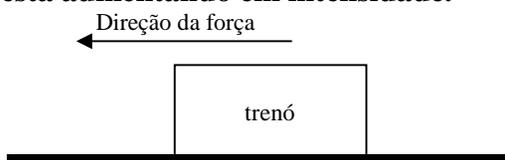
D – Não é necessário aplicar nenhuma força.



E – A força é aplicada para a esquerda e está diminuindo em intensidade.

F – A força é aplicada para a esquerda e sua intensidade é constante.

G – A força é aplicada para a esquerda e está aumentando em intensidade.



1. Que valor de força poderia manter o trenó em movimento para a direita, aumentando sua velocidade até um máximo valor possível (com aceleração constante)?

Resposta: Alternativa _____

2. Que força poderia manter o trenó em movimento para a direita com uma velocidade constante?

Resposta: Alternativa _____

3. O trenó está se movendo para a direita. Que força poderia diminuir sua velocidade (com aceleração constante)?

Resposta: Alternativa _____

4. Que força poderia manter o trenó em movimento para a esquerda, aumentando sua velocidade até um máximo valor possível (com aceleração constante)?

Resposta: Alternativa _____

5. O trenó partiu do repouso e foi sendo empurrado para a direita até atingir uma **velocidade constante**. Que força poderia manter o trenó se movendo com **essa** velocidade?

Resposta: Alternativa _____

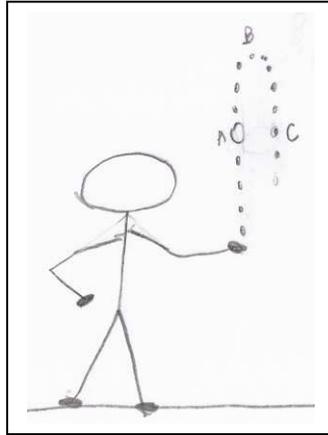
6. O trenó está diminuindo sua velocidade e possui uma aceleração direcionada para a direita. Que força seria responsável por esse movimento?

Resposta: Alternativa _____

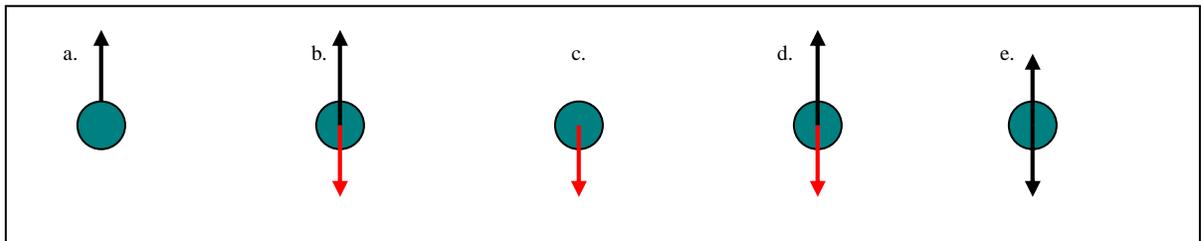
7. O trenó está se movendo para a esquerda. Que força poderia pará-lo (aceleração constante)?

Resposta: Alternativa _____

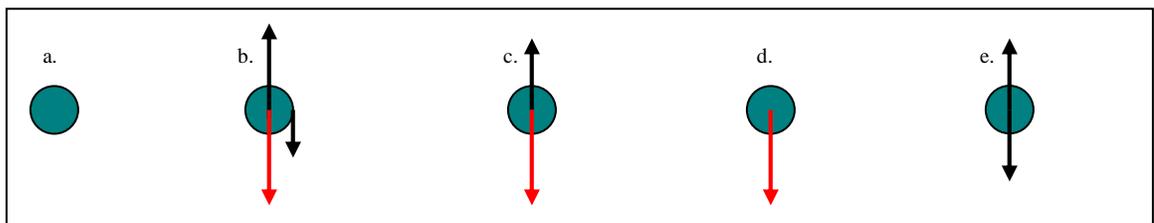
2. As questões 8, 9 e 10 se referem à seguinte situação: um menino lança uma bola verticalmente para cima. Os pontos A, B e C representam algumas posições da bola após ter sido arremessada. (B é o ponto que representa a altura máxima que a bola atinge antes de começar a cair de volta). Despreze a resistência do ar. As setas nos desenhos representam a(s) força(s) exercida(s) sobre a bola (vetor(es) força).



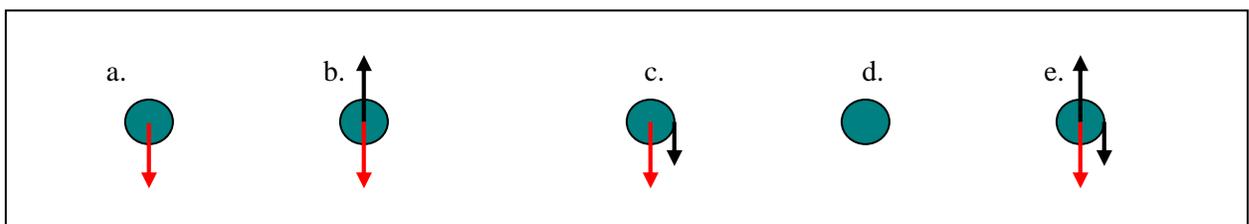
8. No ponto A, quando a bola está subindo, qual dos diagramas abaixo melhor representa a(s) força(s) exercida(s) sobre a bola?



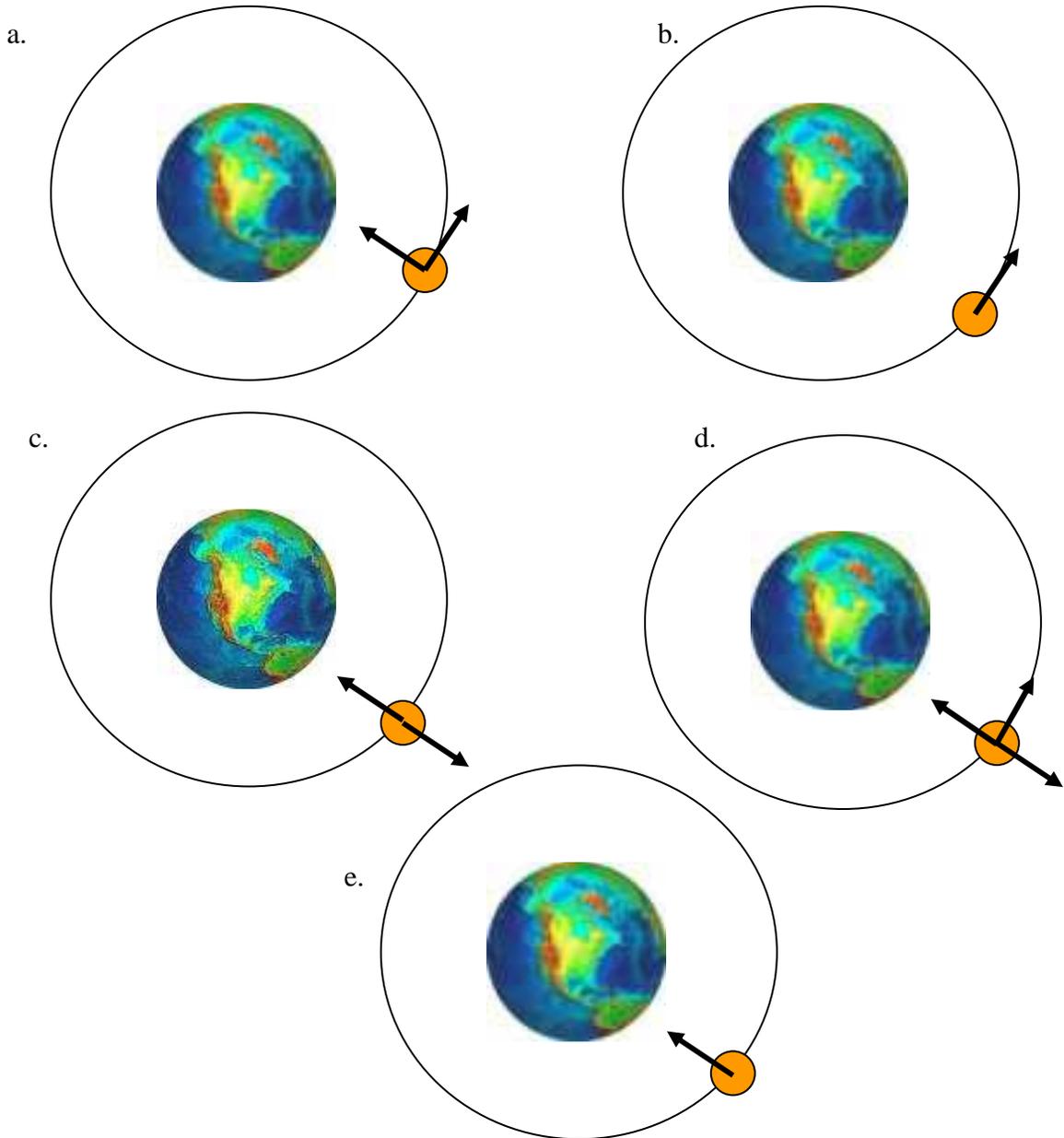
9. No ponto B, quando a bola atinge a altura máxima, qual dos diagramas abaixo melhor representa a(s) força(s) exercida(s) sobre a bola?



10. No ponto C, quando a bola está descendo, qual dos diagramas abaixo melhor representa a(s) força(s) exercida(s) sobre a bola?



11. As figuras desta questão representam um satélite artificial descrevendo um movimento circular e uniforme em torno da Terra. As setas mostram as forças exercidas sobre o satélite. Qual das figuras melhor representa a(s) força(s) exercida(s) sobre o satélite?



12. Nas embalagens de muitos produtos que consumimos, temos a indicação:

- a. da massa dos produtos
- b. do peso dos produtos
- c. de ambos

13. Considere um astronauta no interior de uma nave em órbita em torno da Terra.

13.1. Nessa situação, a massa do astronauta seria:

- a. maior
- b. menor
- c. igual
- d. nula

13.2. E o peso do astronauta?

a. seria maior b. seria menor c. seria igual d. seria nulo

14. Suponha um astronauta caminhando na Lua.

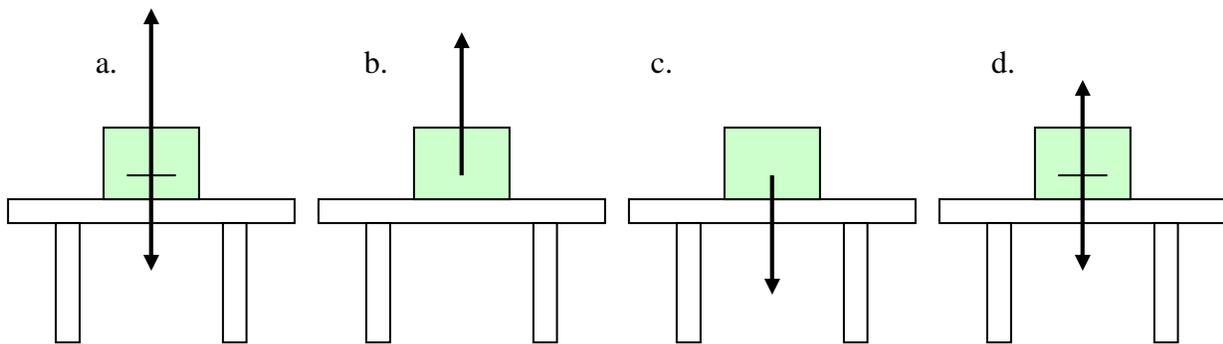
14.1. Lá, sua massa é:

a. maior b. menor c. igual d. nula

14.2. Seu peso na Lua é:

a. maior b. menor c. igual d. nulo

15. Um caixote está parado sobre uma mesa. Escolha o diagrama que melhor representa as forças exercidas sobre o mesmo.



Anexo 3

Pré-teste sobre a forma da Terra

PRÉ-TESTE SOBRE SISTEMA SOLAR, FORMATO DA TERRA E CAMPOS GRAVITACIONAIS.

Nome: _____ nº: _____

Turma: _____ Data de aplicação: ____/____/2006

Professora: Sônia Elisa Marchi Gonzatti

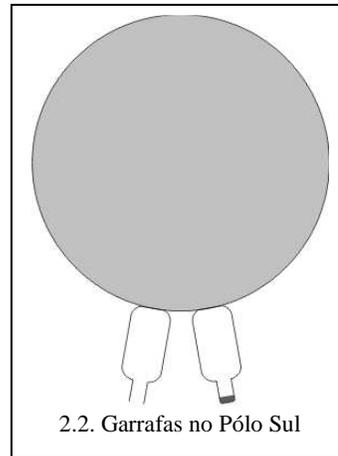
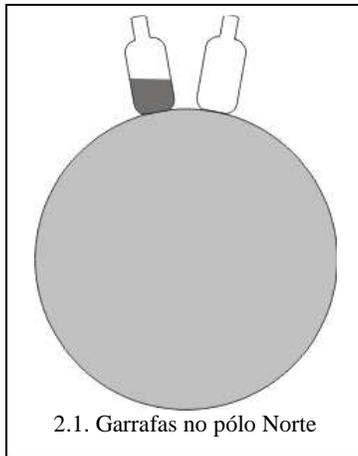
1. Suponha que você foi sorteado pela NASA para fazer uma viagem espacial. Você decola da Terra num foguete e fica viajando, afastando-se dela durante um dia. Então, olha pela janelinha do foguete na direção de nosso planeta. Expresse num desenho o que você vê de onde está:

Quadro 1: O que você vê olhando para a Terra a partir de um foguete no espaço:

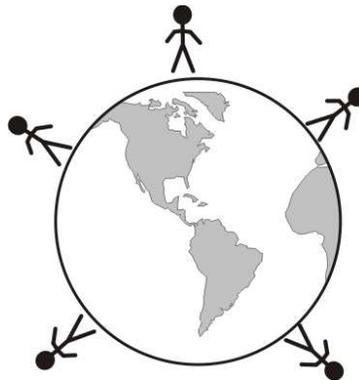
Quadro 2: Desenhe novamente a Terra. Desenhe pessoas para indicar onde elas vivem. Desenhe nuvens e chuva caindo.

2. Imagine que o desenho 2.1 representa a Terra. As figuras estão fora de escala. As duas garrafas, sobre o Pólo Norte, pertencem a uma menina que lá mora. Uma está fechada e com água até a metade e a outra está aberta e vazia. Agora imagine que a garrafa aberta também contém água pela metade. Desenhe com lápis de cor azul a água dentro dela.

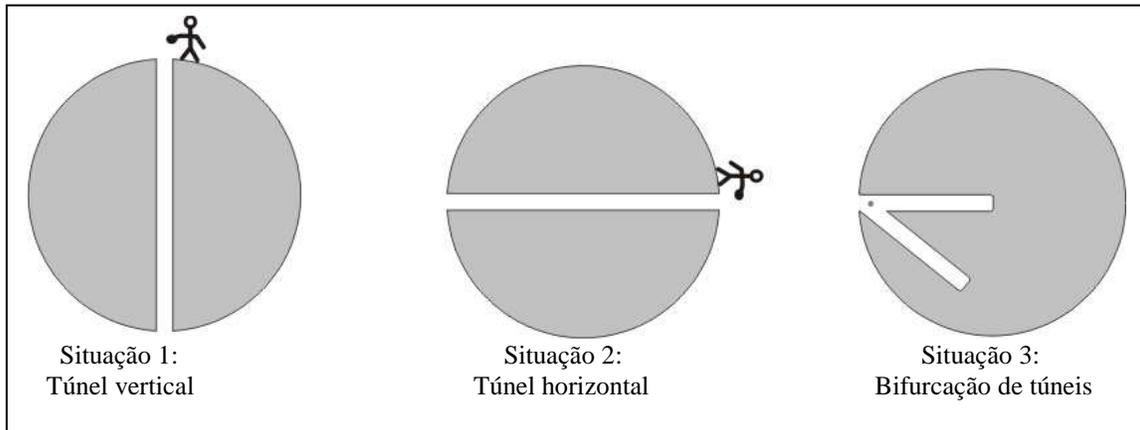
2.2. A menina viaja para o pólo Sul e leva suas garrafas junto. Coloca-as no chão, ao seu lado. Desenhe, no esquema 2.2., novamente com lápis azul, como estará posicionada a água dentro das garrafas, a aberta e a fechada, nessa parte da Terra.



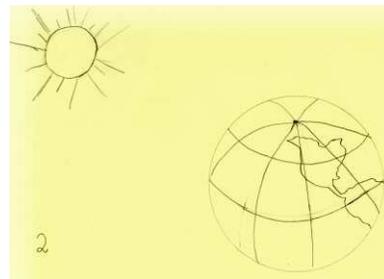
3. Considere as pessoas da figura dispostas em diferentes pontos da superfície da Terra. Cada uma vai largar uma pedra, inicialmente em repouso. Desenhe uma linha orientada que demonstre qual é a trajetória da pedra, ao cair, correspondente a cada uma das pessoas.



4. Suponha que seja possível perfurar túneis a partir da superfície da Terra, em direção ao seu interior. Através de desenho, procure prever o que ocorreria se uma pessoa lançasse uma pedra através de um desses túneis nas três seguintes situações:



5. Por que a Terra é plana na figura 1 e redonda na figura 2? Assinale a melhor opção, na sua opinião:



- Elas são Terras diferentes.
- A Terra é redonda semelhante a uma bola, mas as pessoas vivem na parte plana, no centro.
- A Terra é redonda semelhante a uma bola, mas tem locais planos nela.
- A Terra é redonda como uma bola, mas parece plana porque nós vemos apenas uma pequena parte da bola.
- A Terra é redonda semelhante a um prato ou disco, então ela parece redonda quando você está acima dela e plana quando você está nela.

6. Você tem duas esferas de tamanhos iguais: uma de ferro e a outra de madeira. Você segura uma em cada mão, na mesma altura em relação ao chão. Então, solta-as exatamente no mesmo instante. Qual delas atinge o chão primeiro, se você ignorar a resistência do ar?

- a esfera feita de madeira
- a esfera feita de ferro
- nenhuma, elas chegam juntas ao chão.

Sua justificativa:

APÊNDICES

Apêndice 1

Texto de Apoio - Parte 1– *Leis de Newton para o movimento*

Texto de Apoio I

Leis de Newton para o movimento

Objetivos:

Diagnosticar que tipo de relação os alunos fazem entre força e movimento e categorizar suas concepções em níveis que representam a evolução desses conceitos ao longo da história da ciência.

Entender o conceito de força como interação entre dois corpos, no mínimo, e conhecer seus principais efeitos: força como causadora de deformações e força como capaz de alterar o estado de movimento dos corpos.

Apresentar as principais leis de força, analisando-as a partir das interações fundamentais da natureza.

Entender o conceito de massa (inercial) como uma grandeza que mede a resistência dos corpos em alterar seu estado de movimento ou de repouso.

Compreender o princípio da inércia como uma incapacidade dos corpos de alterarem seu estado de movimento por si sós, se não houver forças externas aplicadas a eles. Delimitar a validade das leis de Newton aos referenciais inerciais.

Associar as situações de equilíbrio estático e dinâmico à situação de força resultante nula, através de exemplos práticos e experimentos.

Compreender que uma força resultante não-nula produz alterações na quantidade de movimento linear de um corpo, isto é, produz aceleração. Trabalhar situações-problema envolvendo a 2ª lei.

Conhecer as principais leis de força e aplicá-las em situações simplificadas.

Representar o conjunto das forças aplicadas a um corpo através da construção de diagramas de força.

Apresentar a Quantidade de Movimento Linear como uma grandeza vetorial que é alterada pela aplicação de uma força resultante não nula.

1 PARTINDO DE NOSSAS IDÉIAS SOBRE MOVIMENTO

Atividade 1: Responder as questões abaixo individualmente.

Tomando por base o conhecimento que você já possui, responda em seu caderno: (Considere um referencial fixo na superfície da Terra).

1. O que é necessário para colocar em movimento um corpo inicialmente em repouso?
2. O que é necessário para manter um corpo em movimento?
3. Uma vez em movimento, os corpos, em geral, tendem a parar ou a continuar em movimento?
4. Como você explica o fato de que uma bola chutada por um jogador de futebol continue a se movimentar mesmo depois de não haver mais contato com o agente arremessador (no caso, o pé do jogador)?

Atividade 2: Responder individualmente um pré-teste para explicitar as concepções sobre força e movimento. Será recolhido pela professora.

Atividade 3: Já na aula seguinte, discutir, em grupos de três alunos, as respostas que eles mesmos deram, individualmente, às quatro questões da **Atividade 1**. O grupo deve produzir uma resposta que represente a idéia do conjunto, e registrá-las nos cadernos individuais, na forma de uma tabela (sugestão). Se houver divergência entre as respostas individuais e aquela do grupo, registrar.

Atividade 4: Leitura complementar obrigatória. Sobre os aspectos históricos, os alunos deverão responder às questões de reflexão propostas posteriormente e serão desafiados a comparar/associar suas próprias concepções com as diferentes concepções elaboradas pelos cientistas ao longo da História. O intuito é levá-los a perceber que o conhecimento é construído gradativamente e evolui, não sendo obra extraordinária de um homem ou alguns homens geniais apenas.

2 EXPLICANDO OS MOVIMENTOS – De Aristóteles a Newton

Entender como e por que as coisas se movem foi uma questão que intrigou o ser humano desde os tempos mais remotos. Para chegar ao estágio atual, em que os movimentos a baixas velocidades são descritos, com muito boa precisão pela mecânica newtoniana, e em que os movimentos com velocidades próximas à velocidade da luz no vácuo são explicados pela Teoria da Relatividade de Einstein, muitas teorias e modelos foram criados ao longo da História. Tais teorias geralmente estão relacionadas à visão de mundo e de Universo que os filósofos e cientistas tinham então. Portanto, as explicações propostas para os movimentos e suas causas tinham implicações filosóficas e religiosas e não eram desconectadas das crenças e dos valores dos homens que as propuseram. Isso ficará mais claro a partir dos breves relatos que faremos adiante.

2.1 Os filósofos gregos antigos

De um modo geral, os gregos viam o Universo como perfeito, ilimitado e permanente (imutável). Alguns, como Parmênides, Zenão, acreditavam que o que já está no seu *estado de perfeição* não teria por que mudar (mudanças de qualquer natureza, inclusive de posição – movimento). Distinguiam entre o SER e o NÃO-SER. Mudança, transitoriedade, movimento e vácuo são características do NÃO-SER (Ponczek, 2002, p.55). Na visão desses filósofos, por serem imperfeitas as coisas que mudam, elas são irreais, ou seja, *não são*. Zenão de Eléia, por exemplo, formulou alguns paradoxos para provar a imobilidade das coisas. O mais famoso é o da corrida entre um homem (Aquiles) e uma tartaruga, em que esta larga na frente, mas se move com menor rapidez, será ganha pela tartaruga⁹.

Já Heráclito, acreditava num mundo em constante mutação e movimento, com um ponto de vista oposto ao de Parmênides. Na sua visão, que pode ter sido influenciada por visões orientais (da Babilônia), ao observarmos o escoamento de um rio, jamais veremos a mesma coisa, pois todo o rio está em constante renovação. (ib, p.56). Esse grupo de filósofos também tinha

⁹ Para mais detalhes, ver PONCZEK, (2002, p.55).

como uma de suas principais preocupações, entender e explicar a origem do Universo. O movimento das coisas não era o objeto principal de suas teorias. O movimento era tratado como uma das várias formas pelas quais os corpos mudam.

2.2 Os Filósofos gregos pré-socráticos (anteriores a Sócrates)

Criaram o princípio do *arché*, uma espécie de argila primordial da qual eram feitos todos os elementos que constituem o universo. Conforme descreve Ponckzek, (2002, p.56), para Tales de Mileto (séc. VI a.C.), o *arché* era a água, indispensável à vida em qualquer forma. Para Anaxímenes (séc. VI a.C.), esse elemento primordial era o ar, pois a respiração, ou *pneuma*, é o princípio fundamental da vida. A existência de uma maior ou menor quantidade desse elemento fundamental nas coisas é que explicava seus movimentos. Anaximandro (séc. VI a.C.), também de Mileto, invoca um *arché* que não é nem o ar nem a água, mas um elemento indefinido e ilimitado, o *apeyron*, o qual usa também para explicar uma possível origem da Terra e do Universo: este seria uma praia de *apeyron*; e as diferenças de temperatura fariam o *apeyron* quente se converter em fogo e formar as estrelas, e o frio produziria os elementos terra e a água.

Empédocles (490 a.C.), da Sicília, avança em relação aos modelos anteriores, que eram de um elemento fundamental único. Ele formula a teoria de que todas as coisas são constituídas pelos quatro elementos imutáveis - terra, água, ar e fogo -, na qual Aristóteles se inspiraria mais tarde para formular a sua mecânica.

2.3 Leucipo e Demócrito – o atomismo

Na base dessa escola de pensamento, está a premissa de que o universo, basicamente, é constituído por átomos – a menor porção de matéria, indivisível, que é possível se ter – e de vácuo - o vazio. Segundo Leucipo e Demócrito (contemporâneos e da época de 500 a.C.), na visão dos filósofos dessa escola, os átomos são imutáveis e indivisíveis, mas podem combinar-se de infinitas maneiras, evoluir, movimentar-se livremente no vácuo e reorganizar-se para formar as diferentes formas de matéria que existem. Nessa concepção, está implícita uma visão de um universo dinâmico e em constante mutação. O atomismo influenciou o pensamento ocidental na

medida em que trouxe a idéia de dividir o todo em partes cada vez menores a fim de compreender melhor a natureza das coisas.

2.4 Aristóteles

2.4.1 A vida do sábio grego

Nascido provavelmente em 384 a.C., na região grega da Macedônia (atualmente parte da região instável da ex-Iugoslávia), foi um dos grandes pensadores gregos cujas teorias perpassaram áreas como astronomia, física, lógica, geometria, biologia e filosofia, e que exerceram ampla influência tanto no pensamento grego quanto na Europa Ocidental. Seu pai trabalhava como médico na corte real grega; por isso, Aristóteles viveu lá na sua infância, onde conheceu e se aproximou de Alexandre, o Grande, um dos mais importantes imperadores gregos.

Com 17 anos, Aristóteles vai estudar em Atenas, na Academia de Platão. Por lá permanece durante quase 20 anos e, durante este período, torna-se tutor intelectual de Alexandre. Por volta de 335 a.C., funda o Liceu de Atenas, um centro de estudos e pesquisas considerado o mais avançado da época.

A disseminação das idéias aristotélicas na Europa ocorre através da divulgação de seus escritos a partir da Península Ibérica. Mas a influência mais forte ocorre através da adaptação das teorias aristotélicas à doutrina cristã, em trabalhos como o do filósofo Tomás de Aquino, os quais transformam a visão de mundo aristotélica na visão dominante até o fim da Idade Média. Os dogmas da Igreja Medieval (tais como aquele segundo o qual o homem é a obra perfeita de Deus e, portanto, deve estar no centro do Universo e governando todas as coisas) estão relacionados à idéia aristotélica de que o Universo é finito e de que a Terra ocupa o seu centro.

2.4.2 A Mecânica Aristotélica

A obra de Aristóteles é ampla. Assim, vamos nos deter nas suas concepções para explicar os movimentos e que estão interligadas com a sua visão de mundo, já que é isso que nos interessa mais diretamente num curso de Física e Astronomia.

2.4.2.1 O Universo Aristotélico

Adepto de uma visão segundo a qual as coisas e a obra da criação têm como características a perfeição e a imutabilidade (uma visão muito comum entre os gregos da Antiguidade), a descrição de Aristóteles para o Universo e para os movimentos é profundamente coerente com essa premissa filosófica. Ela, de fato, constituiu um paradigma em torno do qual Aristóteles estruturou todas as suas teorias. O Universo é finito, ou seja, não há nada além da esfera celeste que contém as estrelas. Está dividido em dois mundos: o **mundo sub-lunar**, abaixo da esfera que conteria a Lua e no qual está a Terra, e o **mundo supra-lunar**, que vai da Lua e até a esfera celeste. Ora, tal divisão é necessária, na visão de Aristóteles, porque tudo que está acima da Lua, e que era conhecido à época, como estrelas, planetas e a própria Lua, pareciam ter movimentos circulares perfeitos e perpétuos, e, portanto, estavam de acordo com sua premissa de perfeição. Já os objetos situados abaixo da esfera lunar, o mundo terreno, estão cheios de movimentos e sofrem modificações que caracterizam sua imperfeição e transitoriedade, e necessitavam ser separados daqueles perfeitos.

Nessa visão, o mundo supra-lunar é perfeito, incorruptível, imutável, e o movimento circular dos astros em torno da Terra estática é tomado, simplesmente, como “natural”. Aristóteles não via necessidade de nenhum agente produzindo alguma força para explicar o movimento ou as órbitas dos astros em torno de um astro central. Como sabemos da História, esta visão influenciou profundamente a Igreja. Filósofos ou cientistas famosos, como Galileu ou Copérnico, ou anônimos, que ousassem contestar essa descrição eram duramente punidos pela Inquisição.

O mundo supra-lunar seria constituído de éter, o quinto elemento. O mundo sub-lunar seria constituído dos quatro elementos, distribuídos ou agregados para formar todas as coisas de nosso mundo. Elementos mais pesados teriam mais terra e água do que ar ou fogo; elementos mais leves teriam proporções diferentes destes elementos: teriam mais ar ou fogo do que terra e água na sua constituição.

2.4.2.2 Os movimentos no mundo sub-lunar

Os movimentos celestes eram considerados perfeitos e naturais. Já os movimentos terrestres eram classificados por Aristóteles de acordo com duas categorias: movimentos naturais e movimentos violentos.

Nos *movimentos naturais* não havia nenhum agente externo atuante. A queda dos corpos, por exemplo, era considerada por Aristóteles como um movimento natural: é da natureza da pedra buscar o seu lugar natural, o mais próximo possível do centro da Terra, pois ela é constituída predominantemente pelo elemento terra. E este elemento tende naturalmente ao chão. Já a fumaça sobe, pois é formada de ar e fogo, e o lugar do fogo é acima do ar. A fumaça subir é de sua natureza, é seu movimento natural. Na Terra, as coisas mudam porque é da sua natureza mudar, já que o mundo sublunar é imperfeito e transitório.

Na categoria dos *movimentos violentos*, estava o lançamento horizontal de um objeto qualquer, como uma flecha. Ao contrário do movimento natural, o movimento violento era aquele afetado por agentes externos, associado a empurrões, puxões, deformações de todo tipo etc, pressupondo a existência de contato entre o agente motor e aquele que é movido. Uma pedra só terá um movimento para cima se alguém a jogar para cima: naturalmente, ela jamais faria este movimento vertical e para cima. Uma flecha, para sair do repouso, precisa ser *forçada* a isso por um agente que lhe comunique um movimento violento. Segundo Aristóteles e seus seguidores, uma vez que a flecha é lançada pelo arco, o ar deslocado pela frente flecha ‘retorna’, contornando a flecha, para ocupar o lugar por ela deixado vazio atrás, passando com isso a empurrá-la para frente. O movimento do ar ao redor da flecha e para trás da mesma é um movimento natural, no entanto: ele ocorre porque, quando a flecha se desloca para frente, tende a deixar atrás de si um *vácuo*, e a natureza tem “horror ao vácuo”, segundo a física aristotélica. Segundo Aristóteles, essa ação do ar, necessária para manter a flecha em movimento, vai escasseando até se extinguir, quando a flecha cai.

A dinâmica da mecânica aristotélica baseava-se na crença de que a velocidade adquirida por um corpo, em um movimento violento, é proporcional à força exercida sobre ele, e essa deve ser maior que a resistência oferecida pelo meio. A idéia de Aristóteles para o movimento natural foi amplamente aceita durante toda a antiguidade clássica e a idade média, na Europa. Como não concebiam ação à distância (interação entre dois corpos afastados e sem contato entre si) e nem a possibilidade de se conseguir vácuo (o espaço ‘vazio’ entre os corpos era, segundo Aristóteles, preenchido por éter), a explicação que propôs era satisfatória para explicar os fenômenos que

estavam ao alcance do cenário real observado. A idéia de movimento violento, no entanto, enfrentou mais resistências, principalmente durante a idade média, na Europa, já que o ar deslocado deveria ir para trás, dar meia volta e novamente passar a empurrar a flecha e mantê-la em movimento após o lançamento.

Assim, a mecânica aristotélica propõe uma explicação para os movimentos que não abre mão da presença do meio, o qual sempre oferece resistência, porque era a partir deste cenário real que Aristóteles raciocinava e propunha suas explicações. Conjeturava que, sem nenhuma resistência (vazio), as coisas adquiririam velocidade infinita, e isso era ‘antinatural’ em sua opinião. Não era o que percebia nos movimentos reais que observava. Na visão aristotélica, o repouso era o estado natural buscado por todas as coisas e isso não necessitava de explicações adicionais. **A Terra parada no centro do Universo é uma decorrência da visão aristotélica de que todo movimento precisa de uma força para mantê-lo.** Aristóteles não concebia um agente motor capaz de produzir uma força tão intensa que fosse capaz de manter a Terra em movimento.

A título de síntese para a descrição aristotélica dos movimentos, Hewitt (2002, p.45), coloca que “Aristóteles pensava que todos os movimentos ocorressem ou devido à natureza do objeto movido ou devido a empurrões ou puxões mantidos. Uma vez que o objeto se encontra em seu lugar apropriado, ele não mais se moverá a não se que seja obrigado por uma força. Com exceção dos corpos celestes, o estado normal é o de repouso.”

2.5 Teorias de transição entre Aristóteles e Newton – força impressa e o *Impetus*

2.5.1 A teoria de força impressa

Para se contrapor à idéia de Aristóteles de que sempre é necessário um agente externo aplicando força para haver o movimento violento de um projétil, Hiparco (194 a.C.–120 a.C.) e Philoponus (490-570), já na Idade Média (Séc. VI), argumentam que o que mantém um projétil em movimento (a flecha, no nosso exemplo), é uma *força impressa* que o agente arremessador transferiu ao projétil em movimento. Segundo eles, não é o ar que fica empurrando a flecha, mas uma força que o arco transferiu-lhe (imprimiu-lhe = **impressa**) e que garante seu movimento. No entanto, apesar de discordarem da explicação de Aristóteles para o movimento de uma flecha, eles ainda acreditavam que sempre fosse preciso uma força exercida para manter um movimento

de um corpo, e que essa força é proporcional à velocidade. Boa parte da visão aristotélica do movimento, portanto, permanece para esses autores como um pressuposto comum compartilhado entre a teoria aristotélica pela teoria da força impressa.

2.5.2 Teoria do *Impetus*

A teoria do *Impetus* é um aperfeiçoamento da teoria de força impressa. Ela é formulada por Buridan (1300-1361) e outros eruditos franceses no século XIV, e “origina novas críticas às considerações de Aristóteles sobre o movimento de um corpo após cessado o contato com o projetor”. (Brutti, Coletto e Oliveira, 2000, p.66). Ainda permanece a idéia de que é necessária a aplicação de uma força para manter um movimento. A diferença é que, ao invés da força transmitida pelo agente arremessador ir se extinguindo, agora o que é transferido ao corpo pela força imprimida é uma nova grandeza, chamada de o *Impetus*, que não se mantém constante durante o movimento de uma flecha, mas é gradativamente superado pela resistência do meio e sendo perdido pelo corpo. Por isso os objetos perdem velocidade e caem. Ou seja, o *Impetus* seria conservado se não fosse a ação resistiva do meio.

2.6 Galileu e a transição entre os filósofos e a mecânica newtoniana.

Galileu Galilei (1564-1642) é italiano, nascido em Pisa. Tinha muito talento para as ciências exatas, embora tenha estudado medicina na juventude. A partir de sua obra é que a teoria aristotélica passa a ser questionada mais sistematicamente e mais seriamente. Discorda de Aristóteles quando este supõe que a Terra não está em movimento. Para isso, argumenta que o comportamento de objetos caindo ou sendo lançados para cima ou para frente num navio será o mesmo, seja se o navio estiver em movimento com rapidez constante ou repouso.

Desenvolveu interessantes raciocínios sobre o movimento de corpos rolando em planos inclinados (rampas), que o levaram a concluir que:

- a. **se** um corpo subindo uma rampa tende a perder velocidade;
- b. **se** um corpo descendo uma rampa tende a ganhar velocidade;
- c. **então** um corpo em um plano horizontal deve tender a manter a sua velocidade constante, indefinidamente.

A conclusão importante e revolucionária que Galileu obteve foi que uma bola rolando num plano pára não porque é da sua natureza parar (a idéia aristotélica), mas devido à ação do atrito. Ou seja, o movimento, além do repouso, também pode ser um estado ‘natural’ para os corpos, e não de “movimento violento”, não havendo necessidade de forças exercidas para manter um movimento em linha reta e com rapidez constante. O esquema da figura 1 demonstra o raciocínio desenvolvido por Galileu.

Há muitas controvérsias sobre o fato de que Galileu realmente tenha realizado as experiências, ou apenas raciocinado a partir das situações idealizadas que relatava (uma espécie de “experimentos de pensamento”). A história, bastante difundida, de que ele teria largado objetos de diferentes pesos e composições químicas do alto da Torre de Pisa, para provar que corpos de massas (e pesos) diferentes, lançados simultaneamente de uma mesma altura, caem num mesmo intervalo de tempo, até hoje não encontra comprovação de que efetivamente tenha sido feita. O fato é que, tendo realizado ou não as experiências que constam nos seus escritos originais, e que foram difundidas como indubitavelmente realizadas nos livros ao longo de quatro séculos, Galileu fez importantíssimas contribuições à física e à astronomia.

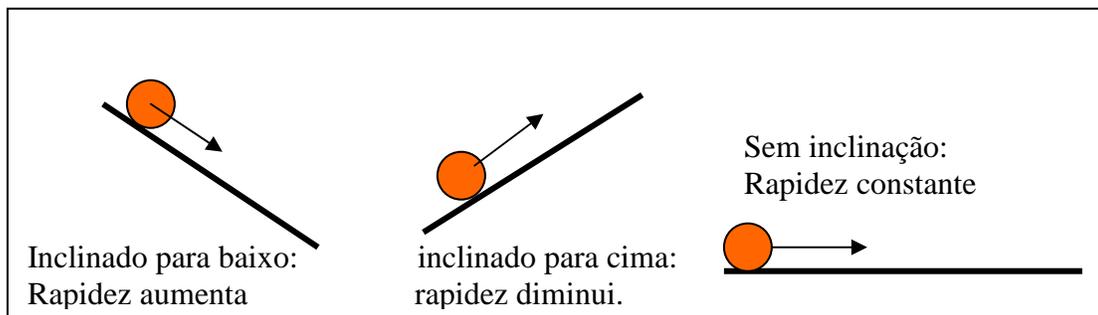


Figura 1: A ‘experiência’ de Galileu com planos inclinados

2.7. Descartes

RENÉ Descartes (1596-1650) foi um importante filósofo e matemático francês. Formulou sua concepção de universo e de mundo baseado na única certeza que dizia possuir, a existência de seu próprio pensamento e de que, através deste, poderia entender o mundo e seu próprio ser (Ponczek, 2002, p.87). Essa visão ficou bem explicitada na famosa frase de Descartes, “Penso, logo existo”, a qual revela, juntamente com todas suas obras, sua concepção racionalista. Descartes crê que a linguagem da natureza é a Matemática, e que a natureza funcionava de

acordo com leis mecânicas. Tudo no mundo material seria explicado em função da organização, funcionamento e interconexões de suas partes, segundo Descartes. O método de investigação que ele criou, e que influencia até hoje nossa forma de entender e de ver a natureza e a ciência, parte do princípio de que é preciso analisar as *partes* para entender o todo; de que é possível induzir leis gerais a partir da análise de casos particulares, tudo isso sempre apoiado apenas no que a razão é capaz de captar. Sua teoria da criação previa a existência de um Criador único. Depois da criação, tudo evoluiria a partir de uma rede mecânica de causas e efeitos.

Descartes acreditava também na existência de leis fundamentais da natureza, criadas junto com a matéria. Propôs uma espécie de princípio da inércia, ao afirmar que “cada coisa permanece no mesmo estado o tempo que puder e não muda esse estado senão pela ação das outras”. (Descartes, citado por Ponczek, 2002, p.93). Também anteviu a lei de conservação da quantidade de movimento, quando analisou as colisões entre corpos. Supôs, corretamente, que “um corpo que se move e encontra outro mais forte que ele, não perde nada de seu movimento”. O que o sábio francês quis dizer é que, se um corpo pequeno colide com outro grande, ele inverte a sua velocidade, algo como uma bola de pingue-pongue colidindo em uma bola de canhão. Por outro lado, previu que um corpo mais pesado, ao colidir com um mais leve, perde parte de sua velocidade, mas coloca o corpo mais leve em movimento de modo que a quantidade de movimento total do sistema formado pelos dois corpos permanece constante.

2.8. Newton

Newton foi um dos gigantes da história da física. Nasceu na cidade inglesa de Woolsthorpe, no Natal de 1642, o ano da morte de Galileu¹⁰. Desde jovem manifestou interesse e habilidade para construir artefatos e pelos estudos. Torna-se, com pouco mais de 20 anos de idade, o maior matemático da Europa, inventando o cálculo integral e diferencial. Acreditava num Deus único (monoteísmo), crença que se refletiu na sua busca por leis gerais da Natureza que explicassem o Universo numa linguagem matemática. Esse seria obra do Criador e as leis para descrever tudo que existe deveriam ser as mesmas. (Ponczek, 2002, p.102). Além da física, dedicou-se à

¹⁰ Pelo calendário gregoriano oficial, adotado em quase toda a Europa, Newton nasceu em 04 de janeiro de 1643. A divergência se deve ao fato de que a Inglaterra não adotou logo o calendário católico, por motivos religiosos.

alquimia, arte mágica que converteria metais em ouro, e também à óptica (estudo dos fenômenos luminosos). Newton é considerado o fundador da mecânica clássica.

Em 1666, uma grande peste assolou a Grã-Bretanha. Newton, que estava estudando no *Trinity College*, se refugia na propriedade de sua mãe. Nessa época, começa a estudar e a deduzir as suas Leis do Movimento, que culminam, vinte anos depois, na grande obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicado em 1687. Esses “constituem a primeira grande exposição e a mais completa sistematização da física clássica, sintetizando em uma única obra toda a cinemática de Galileu e a Astronomia de Kepler”. (Ponczek, 2002, p.105). De fato, as leis de Newton junto com sua lei de gravitação universal constituem uma síntese poderosa de grande parte do conhecimento físico produzido até então, no que diz respeito ao movimento e suas causas. Nos séculos XVIII e XIX, praticamente todos os fenômenos que envolvem movimentos, desde um pêndulo até as marés, a origem do Universo e estrutura do Sistema Solar, seriam explicados pela mecânica newtoniana. A influência de Newton se estende para além da física. O iluminismo, movimento que surge à época da revolução industrial, influenciado pelo pensamento newtoniano, sugere que a sociedade é um fluido social constituído de indivíduos que se movem de acordo com princípios básicos e leis semelhantes às que governam o universo físico, revelando que, em certa medida, “a física torna-se um paradigma para todas as outras ciências” (ib, p.127).

Na transição entre os séculos XIX e XX, surgem questões que a mecânica newtoniana não consegue explicar satisfatoriamente (anomalias). A Teoria da Relatividade de Einstein e a Mecânica Quântica são os dois grandes ramos da Física Moderna e Contemporânea, mais abrangentes que a Mecânica Clássica, que surgem da necessidade de explicar novos fenômenos que as teorias existentes até então já não conseguiam explicar. Contudo, no contexto de referenciais inerciais e movimentos a baixas velocidades (comparadas à velocidade da luz no vácuo), a mecânica newtoniana é válida e continua sendo uma ferramenta importante da Física, como veremos adiante.

Newton, diferentemente de Aristóteles, partilhava da idéia galileana de que pode haver movimento sem a ação de forças. O estado de movimento em linha reta e com velocidade constante também é um estado natural dos corpos, além do repouso. Rompe-se definitivamente com as noções de *força impressa* e *impetus*, e a teoria newtoniana, como veremos, tem o princípio da inércia como um de seus princípios fundamentais.

3. FORÇAS COMO INTERAÇÃO

3.1 O conceito de FORÇA

O uso desse termo na nossa vida é muito amplo. Falamos em forças para mover e erguer objetos. Comparamos forças quando falamos que são fortes e fracas. Atividades que nos exigem esforço, como estudar, trabalhar, correr, etc, têm em comum a idéia de que é preciso fazer ou exercer força. Enfim, nos mais variados contextos, e com objetivos os mais diversos, o conceito de força é utilizado amplamente na nossa vida. Gaspar (2003, p.66), relata que encontrou em um dicionário, 21 significados e 61 expressões diferentes nas quais aparece a palavra força. Desse conjunto, apenas um dos significados e 23 das expressões se referiam a forças relacionadas à Física. Isso significa que 99,5% dos significados e 62% das expressões que envolvem o termo não têm relação com a Física e com o que estamos estudando, mas são significados de uso cotidiano.

Atividade 5: Enumere palavras, termos, expressões que, em sua opinião, estejam relacionadas com o conceito de força:

FORÇA LEMBRA:

Você deve ter percebido que é mais fácil falar em força tratando de seus efeitos sobre os corpos, em geral, do que tentando formular uma definição para ela. De qualquer forma, força pode ser considerada:

- ✓ Uma *ação* capaz de modificar a velocidade (em módulo, em orientação ou em ambos) de um corpo;
- ✓ Uma *ação* que corresponde a um dos sentidos de uma interação entre corpos distintos.
- ✓ Uma *ação* capaz de modificar a forma e/ou o volume de objetos (ou seja, deformá-los).

3.2 Força e seus efeitos

A noção ou termo mais abrangente e de uso mais recomendado atualmente, para referir-se a força, é a noção de interação. **Interação** pressupõe dois corpos ou mais que *afetam* um ao outro, que *agem* um sobre o outro. Os efeitos dessa interferência podem ser muito diferentes. Um ímã, por exemplo, atrai objetos de ferro mesmo sem tocá-los. O contato dos nossos pés com a areia da praia a afunda. Um puxão forte pode rasgar um papel ou romper um fio. Uma batida entre dois carros vai amassá-los. Nessas e em outras inúmeras situações ocorre uma interação entre dois ou mais corpos e, de maneira geral, existe algum efeito decorrente dessa interação.

Forças exercidas entre corpos interagentes podem apresentar como **efeitos** (I) A deformação dos corpos ou (II) A alteração do estado de movimento ou de repouso.

Do primeiro caso, podemos citar como exemplo um sofá que “afunda” quando alguém senta nele; ou uma corda que fica esticada quando um objeto está sendo puxado ou suspenso nela; ou um automóvel que é amassado numa colisão. Todas essas são situações em que o efeito da força foi provocar algum tipo de deformação nos corpos interagentes.

Para tirar um corpo do estado do repouso, é necessária uma interação com algum outro corpo, que lhe aplicará uma força capaz de atribuir-lhe movimento. Chutar uma bola que está parada, erguer um objeto que está sobre uma mesa podem ser citados como exemplos. Por outro lado, se um objeto já está em movimento, a aplicação de uma força pode pará-lo ou alterar seu estado de movimento – ou seja, modificar **(a)** sua rapidez ou **(b)** a orientação de seu movimento ou **(c)** ambos. Podemos ilustrar a situação (a): Quando um goleiro ‘pega’ uma bola, ele interage com ela de modo a interromper o movimento da bola. Para conter um objeto que está escorregando numa rampa e na iminência de bater em alguma coisa, você precisa interagir com ele, aplicando-lhe uma força capaz de diminuir sua velocidade de deslizamento. No caso (b), reflita sobre qual é o agente capaz de fazer com que um carro realize uma curva. A força de atrito entre os pneus e a pista é que garante a mudança de direção necessária para fazer a curva; nesse caso, o movimento do carro está sendo alterado, em sua direção, pela força de atrito entre os pneus e o piso da estrada. Todas as situações acima são situações nas quais os efeitos das forças aplicadas, ou seja, da interação entre os corpos, foram de causar **alterações do estado de movimento ou de repouso** relativo.

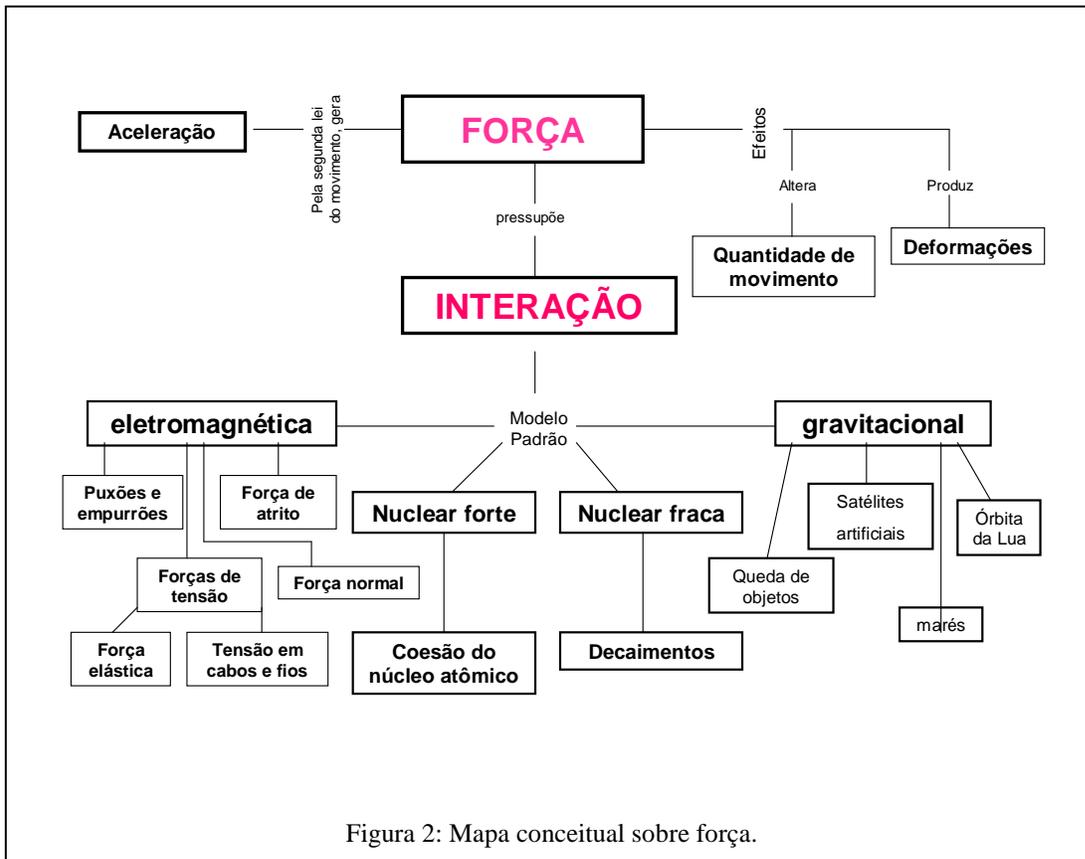
3.3 Alguns exemplos de força

Puxar, empurrar, carregar, suspender são as situações mais comuns que relacionamos com força. Contudo, há outras formas de interação entre os corpos e que acarretam forças de outra natureza. Segundo o Modelo Padrão e a física de partículas, todas as forças da natureza são determinadas a partir de quatro interações ou forças fundamentais, as quais são, basicamente, todas forças de campo, ou de ação à distância. São elas: força eletromagnética, gravitacional, nuclear forte e nuclear fraca. Porém, na prática, e enquanto construímos o conceito de campo, uma maneira de classificar as forças é enquadrá-las como forças de contato ou forças de ação à distância.

Como forças de contato, temos as forças elásticas, a normal, o atrito, interações que podemos analisar e observar mais facilmente em situações de sala de aula. Note, porém, que as forças que observamos como “de contato”, são, em essência, forças de natureza eletromagnética, que impedem que átomos de um corpo não penetrem os de outro corpo. O que descrevemos macroscopicamente como um contato físico entre corpos para produzir uma tensão, ou o atrito, é, na realidade, uma ação à distância entre campos eletromagnéticos.

O que é considerado como força de ação a distância são aquelas interações que ocorrem sem que observemos, macroscopicamente, o contato físico entre os corpos interagentes, como a queda de um objeto devido à gravidade terrestre (interação gravitacional), ou o desvio de um filete de água na presença de um bastão de vidro eletrizado (interação eletromagnética), ou, ainda, a interação entre dois ímãs espacialmente afastados entre si. Em todos os casos, o que enquadramos visualmente como forças de contato ou ação à distância, na verdade se resume a interações devidas à presença de campos de forças.

O mapa conceitual a seguir (Figura 2), apresenta as principais noções e conceitos relacionados ao conceito estruturante de *força*.



4. AS LEIS DE NEWTON PARA O MOVIMENTO

Introdução

Observamos que, ao longo da História da humanidade, modelos e teorias foram elaborados visando descrever e explicar o movimento dos corpos em geral. Percebemos que esses modelos geralmente estão relacionados a valores filosóficos e religiosos, e com uma visão de mundo, estes últimos constituindo um paradigma no qual as teorias estavam inseridas, cujos pressupostos devem ser respeitados. Quando Maxwell descartou a necessidade de um meio material para haver propagação da luz no vácuo, muitas convicções foram abaladas, inclusive porque a idéia de vazio assusta e não fora considerada nos modelos até então criados. Enquanto Aristóteles concebeu o repouso como o estado natural das coisas terrenas (no céu, o movimento circular é que é o natural) e construiu sua mecânica a partir da questão POR QUE AS COISAS SE MOVEM?, Galileu e Newton passaram a propor que, além do repouso, o movimento retilíneo

uniforme também pode ser um estado ‘natural’ dos objetos, sob certas condições, e passaram a responder prioritariamente à pergunta POR QUE AS COISAS PARAM?.

Quando Galileu e Newton propuseram que os movimentos podem ocorrer naturalmente, analisando situações para além daquelas observadas no cenário real, eles estavam edificando as bases para que uma mesma Física, um mesmo conjunto de leis, explique a enorme variedade dos movimentos terrestres e celestes. Ao proporem que, se não houver a ação de nenhuma força (resultante) sobre um objeto, este pode se mover indefinidamente numa trajetória retilínea, com velocidade constante, eles estavam propondo a noção de *inércia*, que depois acabaria sendo aceita como uma importante propriedade da matéria. Ambos conseguiram aceitar que a Terra estivesse em movimento porque se desfizeram da premissa aristotélica de que todo movimento exige uma força para mantê-lo. Mas foi Newton quem sintetizou a noção de inércia em um enunciado de lei, hoje conhecido com a Primeira Lei de Newton do Movimento.

4.1 A primeira Lei de Newton do Movimento – O princípio da Inércia

Na Física, um *princípio* é uma afirmação ou um enunciado que é tomado como verdadeiro *a priori*, um pressuposto mais ou menos abrangente a partir do qual teorias e leis mais específicas podem ser estabelecidas. Um princípio é uma regra que não pode ser violada. É algo em que acreditamos e que não pode ser demonstrado. Descrições ou previsões fornecidas pelas leis e teorias formuladas não podem vir a contradizê-lo.

Na mecânica newtoniana, o conceito de inércia tem um pouco dessa função. Newton percebeu que a tendência natural dos corpos é a de permanecerem no estado de repouso ou de movimento com velocidade constante, por inércia, se a resultante das forças exercidas sobre o corpo for nula. Essa tendência natural da matéria em manter seu movimento é representada pela inércia. Por outro lado, Newton também percebeu que essa lei só é realmente válida se o sistema de referência usado for de um tipo especial, que Newton denominou sistema de referência inercial. Pense em um carrossel parado, por exemplo, sem girar, e em uma bola colocada em repouso sobre o piso do mesmo. Quando a bola é solta, permanece como estava, ou seja, parada em relação ao carrossel. E sabemos que a força resultante, neste caso, é zero, pois o peso da bola está sendo equilibrado, ou anulado, pela força normal exercida pelo piso do carrossel. Logo, para o referencial “carrossel parado”, a primeira lei de Newton é válida. Mas se o carrossel estiver

girando quando a bola for solta, esta não permanecerá mais parada em relação ao piso do brinquedo, como todos sabemos muito bem da nossa experiência cotidiana. E, como antes, a força resultante exercida sobre a bola é nula. Portanto, uma vez solta em repouso, e para um observador que está no carrossel e não sabe que ele gira, a bola não deveria entrar em movimento, mas entra. Isso significa, então, que o referencial “carrossel em movimento” não é um referencial inercial, pois em relação a ele a primeira lei de Newton é violada. Assim, a primeira lei de Newton, ou princípio da inércia, ao mesmo tempo em que representa uma propriedade geral dos corpos materiais (a inércia), também constitui um critério para determinar se um dado sistema de referência é do tipo *inercial* ou não.

4.1.1 Referenciais Inerciais

Um referencial inercial é aquele em que a primeira lei de Newton é válida. Mas o próprio Newton se preocupou em sugerir outra maneira, mais prática, de determinar se um sistema de referência é inercial ou não. Segundo Newton, um sistema de referência inercial é todo aquele que está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação ao conjunto das “estrelas fixas”, ou seja, o conjunto dos corpos celestes (incluindo poeira, gases etc) que se encontram tão longe da Terra que são vistos como fixos na chamada “esfera celeste” dos astrônomos gregos da antiguidade. De acordo com essa regra prática, para a maioria das situações analisadas a partir da superfície da Terra, esta, apesar de seus movimentos de rotação e de translação, pode ser considerada, com boa aproximação, um referencial inercial. E de fato, os resultados de inúmeros experimentos são corretamente descritos e explicados com base nas leis de Newton, usando-se um sistema de referência fixo na superfície da Terra, pois a aceleração deste sistema, com relação às “estrelas fixas”, é desprezível do ponto de vista prático.

4.1.2 Massa e Inércia

A inércia, caracterizada como a impossibilidade dos corpos de resistirem a mudanças no seu estado de repouso ou de movimento, ou à impossibilidade de, sozinhos, modificarem seu estado de movimento, foi assim enunciada por Newton em sua Primeira Lei do movimento:

Todo objeto permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja obrigado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Atividade 6: Procure encontrar outras formas de expressar a Primeira Lei de Newton. Consulte livros de Física e indique de qual livro você retirou a formulação apresentada. Registre os resultados da consulta no seu caderno individual de Física.

Massa usualmente está associada à quantidade de matéria que está contida num corpo. Quanto maior a massa de um objeto em repouso, mais difícil é colocá-lo em movimento; e também para alterar este movimento (produzir uma aceleração). Se você empurrar dois carrinhos de massas diferentes com uma mesma força, o carrinho com menos massa vai sofrer uma variação maior de sua velocidade do que o carrinho de maior massa, durante o mesmo intervalo de tempo. Por outro lado, quanto maior for a massa de um objeto que *já está* em movimento, mais difícil será reduzir sua velocidade ou pará-lo. Considere uma bola de futebol e uma bola infantil de plástico, as duas vindo em sua direção com um mesmo valor de velocidade. Se quiser pará-las simultaneamente, seu esforço será maior para parar a bola de futebol, não é mesmo? Essas situações nos levam a supor que a massa dos corpos tem relação com a maior ou menor facilidade em alterar seu estado de movimento, fato que originou a expressão *massa inercial*, isto é, a massa está relacionada à propriedade que indica a maior ou menor facilidade em alterar o estado de movimento dos corpos.

4.2 A Segunda Lei de Newton do Movimento

Vimos que a primeira lei de Newton estabelece qual é o estado de movimento de um corpo que não está sujeito a nenhuma força ou, então, que está sob resultante nula: ele estará **ou** em repouso **ou** em movimento com velocidade constante em relação a algum sistema de referência inercial. A questão decorrente dessa é: “O que ocorre quando um corpo está sob a ação de uma força resultante não nula?” A resposta proposta por Newton é que, se o corpo não está nem em repouso nem em movimento retilíneo e uniforme, então ele está *acelerado*. Ora, um corpo acelerado está tendo algum tipo de alteração no seu estado de movimento: ou em sua rapidez, ou em sua orientação ou em ambos.

4.2.1. Quantidade de movimento linear p

A quantidade de movimento linear é uma grandeza vetorial que depende da massa e da velocidade de um corpo. Temos a noção de que um corpo dotado de certa velocidade \mathbf{v} possui uma determinada quantidade de movimento. Mas por que sua dependência com a massa? Já vimos que massa está associada à inércia de um corpo, à resistência que ele oferece ao se variar seu estado de movimento. Assim, a quantidade de movimento de um objeto deve depender tanto da velocidade (módulo, direção e sentido) quanto da massa desse objeto. A quantidade de movimento de um objeto, em cada instante, corresponde ao produto de sua massa m pela sua velocidade \mathbf{v} :

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \quad (\text{Unidade de } \mathbf{p} \text{ no SI: kg} \cdot \text{m/s})$$

A direção e o sentido da grandeza vetorial quantidade de movimento são os mesmos da velocidade, e seu módulo é dado pelo produto do valor da velocidade (a rapidez) pela massa.

Se a massa de um corpo é constante, a variação de sua quantidade de movimento depende apenas da variação de velocidade; logo, mantendo velocidade constante, sua quantidade de movimento é constante. Não há aceleração e, portanto, a força resultante exercida sobre um corpo cuja variação de quantidade de movimento é nula também é nula:

$$\Delta \mathbf{p} = 0 \text{ quando } \mathbf{F}_R = 0$$

Por outro lado, quando a massa for constante, variar a quantidade de movimento significa variar a velocidade. Variação de velocidade está associada a uma força resultante não-nula, geradora de aceleração. Assim, a variação da quantidade de movimento está associada a uma força resultante não-nula aplicada a um corpo.

$$\mathbf{p} \neq 0 \text{ quando } \mathbf{F}_R \neq 0$$

A variação da quantidade de movimento linear \mathbf{p} é dada pela *diferença* entre sua quantidade de movimento *final* e sua quantidade de movimento *inicial*:

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p} - \mathbf{p}_0 \quad \text{ou} \quad \Delta \mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v} - m \cdot \mathbf{v}_0$$

4.2.2. Força resultante geradora de aceleração

Situações em que é nula a força resultante caracterizam o *equilíbrio mecânico* de um objeto. Assim, um corpo em equilíbrio mecânico pode estar tanto em repouso quanto em movimento retilíneo uniforme.

Porém é muito comum haver situações em que há duas ou mais forças aplicadas sobre um corpo. Nesse caso, o que importa é a força líquida ou *resultante* que é exercida sobre ele, que denotaremos daqui em diante por F_R . A força resultante, assim, é a combinação (ou seja, a soma) das forças que são exercidas sobre um objeto (Hewitt, 2002, p.73). Se um objeto está acelerado, é porque ele está sob a ação de uma força. Assim, força produz aceleração e a aceleração que o corpo possui é produzida pela força resultante. A aceleração é diretamente proporcional à força resultante exercida, e inversamente proporcional à inércia do corpo (ou seja, sua massa). Isto é, quanto maior a força resultante aplicada a um objeto, maior será a aceleração adquirida; e, por outro lado, quanto maior for sua massa, maior será a dificuldade em acelerá-lo. Em notação matemática, isso se expressa como:

$$a \sim F_R.$$

A força resultante é obtida somando-se vetorialmente o conjunto de forças aplicadas a um corpo. (aqui, cabe retomar ou introduzir a noção de diagramas de força).

4.2.3 A Segunda Lei de Newton do Movimento

No nosso cotidiano, situações em que o estado de movimento dos corpos é alterado são muito mais freqüentes do que situações de movimentos com velocidade constante. Conforme Hewitt, (2002, p.77), “objetos que inicialmente estão em repouso, mais tarde podem estar em movimento; objetos podem seguir por caminhos que não são linhas retas; coisas em movimento podem parar. A maioria dos movimentos que observamos sofre alterações, que são o resultado de uma ou mais forças aplicadas.”

Newton deduziu e enunciou sua segunda lei, ou lei fundamental da Dinâmica, relacionando força resultante, massa e aceleração. Definiu a força resultante como a grandeza vetorial capaz de alterar a quantidade de movimento linear \vec{p} (4.2.1) de um corpo, em um dado intervalo de tempo Δt .

Vimos que, quando $\mathbf{F}_R = 0$, \mathbf{p} é constante. Porém, quando $\mathbf{F}_R \neq 0$, temos que $\Delta\mathbf{p} \neq 0$, para um dado intervalo de tempo; ou seja, *sob força resultante não-nula, há variação da quantidade de movimento de um corpo*. Veja:

$$\mathbf{F}_R \neq 0 \Rightarrow \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \neq 0 \quad \text{então:} \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\vec{p} - \vec{p}_o}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad \Delta \vec{p} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_o}{\Delta t}$$

Colocando-se m em evidência:

$$\Delta \vec{p} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_o}{\Delta t}$$

Sabemos que a taxa temporal de variação da velocidade é a aceleração, isto é:

$$a = \frac{\vec{v} - \vec{v}_o}{\Delta t}$$

Então, a 2ª lei de Newton, que estabelece o comportamento de um corpo submetido à ação de forças cuja resultante seja não-nula, pode ser expressa na forma abaixo, que é a forma mais usualmente encontrada nos livros de Física em geral.

$$\vec{F} = m.a$$

A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força resultante atuando sobre ele. Tem o mesmo sentido que essa força e é inversamente proporcional à massa do objeto.

Ou, como Newton enunciou nos *Principia*, como a Lei II:

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.”

Vemos que, diferentemente do que Aristóteles e outros pensadores pré-newtonianos propunham, a força (resultante) é proporcional à aceleração, isto é, à variação da velocidade, e não proporcional à própria velocidade. A unidade para força, no Sistema Internacional de Unidades, é o newton (N), definido como:

$$1N = 1kg \times \frac{m}{s^2}$$

Um Newton (1 N) é a força capaz de produzir, em um corpo de massa igual a 1 quilograma (1 kg), a aceleração de 1 metro por segundo ao quadrado (1 m/s²).

A aceleração, assim, pode ser apresentada na dimensão de m/s², como já vimos, ou na dimensão de N/Kg, já que:

$$a = \frac{F}{m}$$

Atividade 7: Realizar exercícios complementares propostos em aula (à escolha do professor).

4.2.4 Força centrípeta

Uma força resultante *centrípeta* exercida sobre um corpo ou sistema é caracterizada como aquela força que faz um corpo realizar uma curva qualquer. Sob a ausência de forças ou quando a força total ou resultante for nula, um corpo estará em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Portanto, qualquer movimento em que ocorra qualquer tipo de variação da orientação (movimentos curvilíneos em geral ou o movimento circular em particular) exige que uma força resultante não-nula esteja sendo exercida sobre o corpo. Quando um corpo realiza uma curva qualquer (não necessariamente circular nem uniforme), tanto o módulo quanto a orientação da

velocidade podem estar variando, mas sempre a força resultante estará orientada para o *lado interno* da curva.

Um caso especial de movimento curvilíneo (num plano, ou seja, em duas dimensões espaciais) é o do *movimento circular*. Nessa situação, a parte (ou seja, a componente) **radial** da força resultante é a responsável pela variação da **orientação** da velocidade instantânea do corpo. Como ela aponta, neste caso, para o centro de um círculo, esta força radial total é chamada de **força centrípeta** (do latim “aquele que procura o centro”). Pode-se demonstrar que o módulo da força centrípeta instantânea é dado por

$$F_{\text{centrípeta}} = \text{Força radial total} = \frac{mv^2}{r}$$

onde v é a rapidez do movimento e r é o raio da trajetória circular do corpo. Mas cuidado: a força centrípeta não é nenhuma força nova a ser acrescentada à resultante das forças exercidas sobre o corpo. Trata-se de um nome especial dado às forças de natureza já conhecidas devido à sua orientação espacial. Portanto, de maneira geral, ela é formada por forças de *naturezas distintas* (forças de tensão, forças normais, forças gravitacionais etc), com uma orientação sempre perpendicular à direção do movimento e do vetor velocidade. Se, ainda, houver uma componente tangencial da força resultante, esta é responsável por variar o módulo do vetor velocidade no movimento curvilíneo.

Um caso ainda mais especial de movimento curvilíneo é o do movimento circular *uniforme*. Agora, além de a trajetória ser um círculo de raio r , o módulo da velocidade (a rapidez), v , mantém-se constante durante a trajetória circular. Não existe força tangencial, ou seja, a força resultante exercida sobre o corpo não possui uma componente tangencial, só a componente radial, que é a força centrípeta. Neste caso, o módulo da força tangencial é igual a zero e o módulo da força centrípeta continua sendo dado pela fórmula anterior, mas agora este módulo é constante, pois a rapidez do movimento se mantém constante.

4.3 Leis de força

4.3.1. Peso

Em nossa linguagem cotidiana, é comum falarmos do peso dos objetos quando, na verdade, estamos nos referindo à massa dos mesmos. Porém, fisicamente, é importante distinguir: massa é grandeza física escalar, considerada como a medida da inércia de um objeto, isto é, de sua resistência a alterações de seu estado de movimento. Peso é uma grandeza física vetorial. É a força exercida sobre qualquer corpo que esteja na presença de um campo gravitacional. A aceleração produzida pela força peso \mathbf{P} é a aceleração da gravidade, cujo valor médio na superfície da Terra ou em altitudes desprezíveis se comparadas com o raio de nosso planeta, é de $9,81 \text{ m/s}^2$. A gravidade é uma interação que ocorre à distância. Aplicando a 2ª lei, temos:

$$\mathbf{P} = m\mathbf{g}$$

Peso é a força exercida sobre um objeto devido à sua interação com o campo gravitacional de um planeta qualquer.

4.3.2. Força Normal

Os corpos em geral, devido a seu peso, tendem a cair. Os objetos dispostos em nossas casas, em prateleiras ou móveis, e estes, distribuídos sobre o piso das construções, comprimem as superfícies sobre as quais estão apoiados. Por que eles não caem em direção à Terra? Porque seu peso é sustentado por uma força que a superfície comprimida exerce, de baixo para cima, como consequência da deformação que sofre por causa do peso dos objetos nela apoiados. Essa força é denominada *normal* (\mathbf{F}_N) porque ela é sempre perpendicular (ou seja, normal) à superfície de apoio do objeto. (perpendicular = em ângulo reto com). Assim, um objeto permanece em repouso sobre uma mesa porque seu peso é equilibrado pela reação normal de apoio da superfície da mesa. Ele está em equilíbrio, pois a força resultante exercida sobre ele é nula.

Atividade 8 - Atividade prática: Aperte uma mola com a mão, contra uma superfície horizontal rígida, de modo a manter o sistema mão-mola em repouso com a mola comprimida.

8.1. Desenhe um diagrama de forças para essa situação;

8.2. Qual é a força resultante exercida sobre o sistema?

8.3. Por que você sente sua mão sendo empurrada para cima pela mola?

A força normal tem origem na compressão da matéria da qual o corpo é feito, ou seja, da diminuição das distâncias entre os átomos que constituem um corpo (distâncias interatômicas). Estes, ao sustentarem o peso de um outro objeto qualquer, atuam como se existissem “molas” microscópicas ligando-os uns aos outros. Devido ao fato de essas “molas” serem comprimidas quando o corpo como um todo é comprimido por outro, e como o número de átomos que formam o corpo é imensamente grande, a força total que essas molas exercem conjuntamente sobre o corpo que as comprimiu é de valor macroscópico, ou seja, de um valor facilmente medido pelos nossos instrumentos comuns. Esse total é a força normal.

Para a situação em que uma superfície de apoio paralela à superfície terrestre (ou seja, horizontal), temos $\mathbf{N} = -\mathbf{P}$; isto é, a força normal tem a mesma intensidade e mesma direção que a força peso, mas sentido contrário. Veja figura 3.

Para a situação de uma superfície inclinada, a força normal tem intensidade igual à componente do peso que está na mesma direção da normal, e sentido contrário a essa componente do peso. (figura 4).

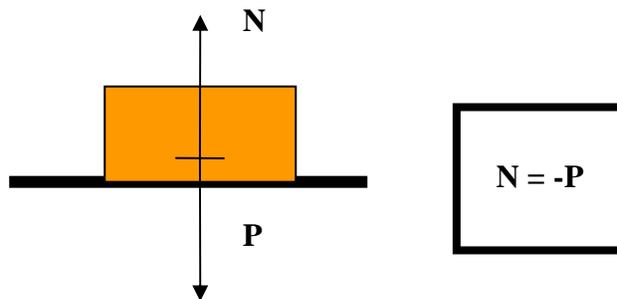


Figura 3: força normal para uma superfície paralela à superfície terrestre.

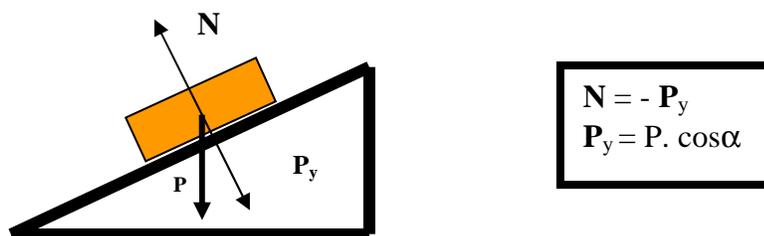


Figura 4: força normal para uma superfície inclinada em relação à superfície terrestre.

4.3.3. Forças de tensão

As forças de tensão, em corpos tais como cabos, molas, elásticos, ocorrem quando esses corpos elásticos são distendidos ou contraídos pela interação com outros corpos. Por exemplo, um relógio ou brinquedo de corda funciona porque a mola interna, que foi previamente comprimida ("dando-se corda" ao brinquedo), vai liberando energia potencial elástica e exercendo uma força elástica dada por:

$$\boxed{\mathbf{F}_{el} = -k\mathbf{x}},$$

onde k é a constante elástica da mola e \mathbf{x} é o vetor deformação da mola, que mede quanto ela se distendeu ou se comprimiu em relação ao seu tamanho natural, numa dada direção e em um dado sentido.

A força elástica, portanto, tem *módulo* igual ao produto da constante elástica pelo módulo ou valor do vetor deformação que ele sofreu, mesma direção da deformação e sentido contrário a ela.

Cabos que sustentam elevadores e andaimes, ou fios que sustentam lâmpadas e outros objetos, também são exemplos de ocorrência de forças de tensão, com função prática de equilibrar o peso dos corpos, nas situações em que há repouso, ou de movimentar objetos.

4.3.4. Força de atrito

Duas superfícies em contato, quando deslizam ou tendem a deslizar uma em relação à outra, exercem entre si forças de atrito. Quando exercemos uma força sobre um objeto a fim de pô-lo em movimento sobre uma superfície, geralmente a força de atrito exercida sobre ele diminui a força resultante e a aceleração desse objeto. O sentido da força de atrito sobre o corpo é sempre oposto ao sentido do movimento de escorregamento (e sobre o piso, o corpo exerce uma força de mesmo módulo, mas com orientação oposta). Em um objeto que se move rampa abaixo, o atrito exercido sobre ele está orientado rampa acima. Ao arrastarmos um armário para a esquerda, o atrito sobre ele estará orientado para a direita. Ou seja, neste caso e em muitos outros, ***o atrito aparece no sentido oposto ao do movimento***, tendendo a dificultar e oferece resistência ao mesmo. A origem do atrito são as inúmeras interações eletromagnéticas existentes entre os átomos que constituem o material das superfícies em contato. O atrito, portanto, depende do tipo de material do qual é feito o corpo e a superfície sobre a qual ele é arrastado ou empurrado. Por

outro lado, ao contrário do que se tende a pensar à primeira vista, o atrito *não depende* das áreas de contato, nem da velocidade de escorregamento.

Na prática, quando estamos empurrando um objeto, isto é, aplicando-lhe uma força, e observamos que ele se move com velocidade constante, deduzimos que ele não está acelerado. Se $a = 0$, então é nula a força resultante exercida sobre o objeto. Concluimos, portanto, que a força que anulou nossa força de empurrar foi a força de atrito produzida pelo contato com a superfície, de igual intensidade, mas com sentido contrário à nossa força.

Atividade 9: Responda:

- 9.1. Que relação a massa tem com a aceleração?
- 9.2. Que relação a massa tem com o peso?
- 9.3. Massa e peso: qual deles muda com a localização?
- 9.4. Qual é o peso aproximado de um sanduíche de 200 gramas?
- 9.5. Qual é o peso de um tijolo de 1 kg?
- 9.6. Qual é a força que o empurra para cima, quando você salta verticalmente do chão?
- 9.7. Qual é sua própria massa em quilogramas? ____ kg. E seu peso, em newtons? ____ N
- 9.8. Uma caixa com 25 kg de massa encontra-se em repouso sobre uma mesa. Qual é valor da força normal que a mesa exerce sobre a caixa? Comente. Qual é a força resultante sobre a caixa?

4.4 Princípio da ação e reação – 3ª lei

Na primeira e segunda leis do movimento, Newton explorou as conexões existentes entre força e movimento. Já na terceira lei, conhecida como lei de ação-reação, o físico inglês tratou da interação entre corpos. Para isso, é necessário que se tenha a noção de sistema. Por quê? A razão é que, na natureza, as forças físicas ou reais sempre aparecem em pares, o que significa que existe uma interação entre dois corpos. Se chutarmos uma pedra (a ação), sentiremos no pé o efeito (a reação) desse ato. Ao nadar, puxamos a água para trás (ação) e a reação é a água nos empurrando para frente. Outros inúmeros exemplos podem ser citados para demonstrar que não existe uma ação sem que exista também uma correspondente reação.

Da 3ª lei, temos que a uma ação corresponde uma reação, igual em intensidade e direção, mas em sentido contrário. Então por que esse par de forças não se anula? Porque estão sendo exercidas sobre corpos *diferentes*, os quais constituem o sistema que está interagindo. Se considerarmos nosso sistema como formado por um par de corpos A e B, tanto a força que A exerce sobre B quanto a força que B exerce sobre A são forças *internas* ao sistema e se cancelam quando calculamos a força resultante exercida sobre o sistema como *um todo*. Mas ao considerarmos cada corpo isoladamente, como se ele mesmo fosse o sistema todo, essas forças estão presentes e não se cancelam, pois só uma das forças que formam o par ação-reação está sendo exercida sobre o corpo (a outra está sendo exercida sobre a vizinhança desse corpo, ou seja, o outro corpo participante da interação). Como Hewitt (2002, p.88) bem descreve:

“Geralmente, quando um corpo A dentro de um sistema interage com um corpo B fora do sistema, cada um deles experimenta uma força resultante. As forças de ação e reação não se anulam. Você não pode anular uma força que atua sobre o corpo A com uma força que atua sobre o corpo B. as forças somente se anulam quando agem sobre o mesmo corpo, ou sobre o mesmo sistema.”

Assim, a respeito de um par ação-reação, é importante destacar:

- Ação e reação são simultâneas, isto é, não existe a possibilidade de ocorrer uma ação e depois a reação. É uma questão de escolha definir qual força é a ação e qual é a reação.
- Elas podem apresentar efeitos diferentes: quando uma bola bate numa vidraça, embora o vidro e a bola sejam submetidos a forças de mesma intensidade, o vidro se quebra, a bola não.
- Elas não se anulam, pois são exercidas sobre corpos diferentes.
- As forças de ação e reação são de mesma *natureza* (gravitacional, de tensão, etc), possuem sempre a mesma intensidade, a mesma linha de ação (direção), mas têm sentidos contrários.

Referências Bibliográficas

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. Força e Movimento. In: *Física: volume único*. São Paulo: Scipione, 1997, cap. 33, p. 72-121.

BRUTTI, D.S.; COLLETO, N.M.; OLIVEIRA, G.O. Influência dos conceitos intuitivos na formação dos conceitos formais, na relação entre movimento e a 2ª lei de Newton. *Scientia*, Série Ciências Exatas, Santa Maria, v.1, n.1, p.59-79, 2000.

GARDELLI, D. A origem da inércia. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, v.16, n.1, p. 43-53. 1999.

GASPAR, A. As leis de Newton. In: *Física: Mecânica*. 1ª ed, São Paulo: Ática, 2003, cap. 9, p. 112-129.

HEWITT, P. *Física Conceitual*. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. cap. 2, 4 e 5. p. 44-59 e p.73-98.

PONCZEK, R.L. et al. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica. In: *Origens e evolução das idéias da Física*. ROCHA, J.F. (org.) Salvador: EDUFBA, 2002, cap. 1, p. 17-135.

Apêndice 2

Texto de Apoio Parte 2 – *A Terra como corpo cósmico*

A TERRA COMO CORPO CÓSMICO

Introdução



Fig. 1: A América do Sul vista através de satélite.

O que é a Terra?

Como é a Terra?

Onde está localizada?

Em que lugar da Terra nós vivemos?

A Terra se movimenta?

O que o céu nos revela sobre a Terra?

A astronomia é a mais antiga das ciências.

Provavelmente, a atividade de observar o céu esteja entre as primeiras atividades de caráter especulativo realizadas pela humanidade. Essa, para a sua sobrevivência, precisava entender e prever os ciclos da natureza, entre eles a alternância entre dias e noites. Fenômenos como enchentes, secas, períodos de frio e de calor, geleiras ou seu derretimento, pareciam estar associados a certas regularidades observadas no comportamento dos astros, como a visibilidade de certas constelações, a altura e a trajetória do Sol durante o ano. Entender essa regularidade na ocorrência de fenômenos celestes permitiu à humanidade, já em épocas muito remotas, marcar a passagem do tempo. Os calendários, hoje tão comuns em nossa vida, foram organizados a partir do período de tempo necessário para completar um ciclo de um evento astronômico. Um ano é o tempo que a Terra demora para realizar uma volta completa em torno do Sol; um dia é o tempo que ela gasta para girar sobre si mesma. Entender e medir o tempo, orientar e localizar viajantes em terra e mar, descrever os movimentos dos planetas e de outros astros, determinar a forma da Terra e suas dimensões, supô-la em movimento e buscar evidências para isso, foram todas realizações conquistadas ao longo da História através da análise e do estudo dos astros celestes. Conhecer um pouco dessa história, escrita por milhares de mãos e mentes, famosas ou anônimas, é nosso objetivo ao estudar a Física através da Astronomia ou a Astronomia através da Física.

Responder as perguntas acima de forma coerente com o conhecimento científico atual exige o domínio de alguns conceitos centrais, necessários à elaboração de um modelo teórico de Terra como corpo cósmico. Nosso estudo abordará esses conceitos centrais, a partir da discussão e da explicação de situações reais e de eventos astronômicos cotidianos. Esses conceitos centrais serão distribuídos em seções, mas procuraremos que fique evidente a inter-relação deles para a interpretação e explicação dos fenômenos em discussão.

Esse texto, assim, terá o objetivo de orientar nosso estudo. Está organizado em três capítulos, cuja ordem de apresentação não necessariamente representa a ordem em que serão estudados.

Capítulo 1: Forma da Terra

Capítulo 2: Campos gravitacionais

Capítulo 3: Movimentos da Terra e fenômenos decorrentes das interações de nosso planeta com outros astros, especialmente com o Sol e com a Lua.

Capítulo 1: Forma da Terra

1.1 De uma visão de Terra plana até uma visão de Terra esférica

Na sua opinião, qual é a forma da Terra? Qual é a sua resposta? Provavelmente, você responderá que é redonda, que é a resposta cientificamente aceita atualmente. Mas nem sempre foi assim. Até o início do século V a.C., predominava a crença em uma Terra plana, descrita por diferentes modelos. Os modelos mais antigos descreviam nosso planeta com base em mitos e crenças filosófico-religiosas. Alguns modelos curiosos, são o modelo dos egípcios e o modelo dos hindus.

Segundo Valadares, (2004, p.87), os egípcios imaginavam a Terra como um deus reclinado. As estrelas ficavam no corpo da deusa Nut, que está encurvada sobre Geia, a deusa da Terra. Shu, o deus do ar, segurava o barco através do qual o sol se deslocava. A noite era explicada pela retirada do sol para uma caverna, onde lutava contra uma serpente do Nilo... A figura 2 representa esse modelo mitológico para a Terra.



Figura 2: O modelo dos egípcios para a forma da Terra.

Já os hindus, segundo o mesmo autor, imaginavam que a Terra era sustentada por elefantes, que por sua vez estavam apoiados em uma tartaruga gigante. Os terremotos eram devido aos movimentos desses elefantes. Veja figura 3.



Figura 3: O modelo dos hindus para a forma da Terra.

Entre os antigos gregos, ainda predominou a crença numa Terra plana, embora surjam as primeiras referências à esfericidade de nosso planeta, caracterizando uma certa transição. De fato, é no início do século V a.C. que surgem os primeiros modelos, de fundamentação mais empírica e observacional e menos mitológica, que consideram a Terra esférica.

Vejam os principais desses modelos, conforme relatado por Neves (2000, p.558).

- **Tales**, de Mileto (640-562 a.C.): A Terra seria um cilindro muito achatado e flutuando sobre o oceano. A percepção ainda é de terra plana, a ‘redondeza’ dizia respeito apenas às extremidades da Terra.

- **Anaximandro** (611-545 a.C.): A Terra estaria em equilíbrio no centro do mundo. Era cilíndrica e achatada, com a forma de um disco plano. Somente sua parte superior seria habitada. Também prevalece uma visão de que a superfície é plana, ou seja, tudo que está sobre a Terra está contido num mesmo plano.

- **Leucipo** (?- 490 a.C.): a Terra era semelhante a um tímpano, achatada em sua superfície mas um pouco realçada nas laterais.

- **Parmênides**, de Eléia (530-460 a.C.): não há unanimidade entre os historiadores, mas Parmênides é apontado como o pioneiro em supor a Terra esférica e apresentar um argumento para sua idéia. Baseava-se no fato de que a estrela Canopus apresentava alturas diferentes em

relação ao horizonte, conforme o lugar da Terra em que era observada. Essa evidência foi extraída do relato dos viajantes.

- **Pitágoras**, de Samos (580-500 a.C.): propôs que tanto a Terra quanto o Universo eram esféricos. Há algumas fontes, embora vagas, que indicam que sua suposição esteve apoiada em evidências sólidas, tais como a sombra esférica na Terra sobre a Lua, o fato de que o mastro de um navio é a última coisa a desaparecer enquanto esse se afasta no oceano. Além de Neves, Rival também apresenta esses argumentos em seu trabalho sobre os principais experimentos científicos da história da ciência. (1997, p.09). Mas o argumento estético parece ter sido mais forte, apoiado na busca de perfeição que marcava os pitagóricos, e a hipótese da Terra esférica era atribuída ao fato de que essa seria a mais bela de todas as figuras sólidas (Rival, 1997, p.10). Também Ptolomeu, Copérnico e Kepler compuseram seus modelos para o Sistema Solar tendo como premissa a perfeição e a harmonia geométricas para descrever o céu perfeito, retratada na hipótese central de que as órbitas são circulares.

- **Platão** (≈428-348 a.C.): admitia que a Terra era esférica, mas não apresentou evidências físicas; sua motivação era estética.

- **Aristóteles**, de Estagira (384-322 a.C.): A partir dele é que se difunde mais a visão de Terra esférica, a qual era defendida a partir de argumentos físicos coerentes com a física aristotélica: um deles, é de que os graves (objetos pesados, com mais terra ou água) caem em direção a um centro; outro argumento apresentado por Aristóteles é o fato de que a sombra da Terra, num eclipse lunar, é redonda; então, a Terra só pode ser redonda. O terceiro argumento referia-se ao relato de viajantes, que em outros lugares da Terra podiam ver estrelas e constelações que não eram visíveis na Grécia.

- **Aristarco**, de Samos (310-230 a.C.¹¹): também supunha a Terra esférica. No entanto, enquanto a maioria dos filósofos gregos de sua época defendia a hipótese da Terra estática e no centro do universo, Aristarco a supôs dotada de movimentos. É a primeira teoria heliocêntrica, mas que não abalou a crença profunda e muito difundida na Antiguidade no modelo geostático e geocêntrico.

¹¹ As datas exatas de nascimento e óbito nem sempre coincidem para fontes bibliográficas diferentes. Nesse caso e em outros nos quais usamos a notação aproximada, retiramos a informação do seguinte endereço: www.wikipedia.org, acesso em jun/2006.

• **Eratóstenes**, de Alexandria (276-194 a.C.): Foi além dos demais colegas filósofos; partilhando da crença na esfericidade da Terra, mediu o comprimento da circunferência terrestre com uma precisão surpreendente para a época.

Pelos exemplos acima, podemos perceber que há a coexistência entre categorias observacionais e abstratas para compor um conceito para a forma terrestre. Segundo Feigenberg, Lavrik e Shunyakov (2002, p.389), essas “categorias abstratas tiveram um importante papel para a construção do conceito que se tem do mundo. Tais categorias eram a harmonia e a perfeição das formas geométricas, ideários promovidos e desenvolvidos pelos pitagóricos (séc. V-VI a.C.), por Platão e Aristóteles, (séc. IV a.C.) e também por Copérnico, Kepler e Galileu no início da era moderna.”

Na Idade Média, apesar da crença dos filósofos gregos da Antiguidade na esfericidade da Terra, a noção dominante é de que a Terra é plana. Já na era moderna, Newton definiu a Terra como um elipsóide em revolução, pois sua rotação altera um pouco sua forma devido ao fato de que nosso planeta não é um corpo rígido. Newton entendia que o achatamento da Terra ocorria nos pólos, entre os quais situa-se seu eixo, e o abaulamento, por consequência, era na região equatorial. A Terra, então, teria forma semelhante a um melão ou melancia, na posição de equilíbrio mais estável. Já os franceses, adeptos da filosofia e da ciência de Descartes, supunham a Terra com o achatamento no equador e o raio maior nos pólos, assemelhando-se a forma da Terra à de um pepino em pé.

É importante frisar que Newton e Descartes protagonizavam uma disputa entre Inglaterra e França que envolvia questões científicas, dentre as quais a forma da Terra era uma questão de debate importante. Essa disputa por supremacia e reconhecimento na área científica também se estendeu à política e à economia. Para os cartesianos, a explicação de todos os movimentos a partir de noções como força, movimento, gravitação, era nova e ameaçadora. A disputa chega a tal ponto, no século XVIII, que a França empreendeu duas expedições para pontos diferentes do planeta, cujo objetivo era comprovar definitivamente o achatamento da Terra na direção equatorial, através da medida de 1 grau de meridiano nesses pontos. O intuito era determinar o raio terrestre e definir a forma da Terra.

Em maio de 1735, partiu a expedição francesa para a América equatorial, coordenada pelo matemático Louis Godin. A expedição polar partiu em maio de 1736, sob o comando do matemático Maupertius. Enquanto a última foi exitosa e cumpriu com o propósito inicial depois

de dois anos de trabalho, a missão equatorial enfrentou muitas dificuldades e não chegou a resultados conclusivos. A expedição acabou abandonada pelo governo francês.

Atualmente, a Terra é classificada como um esferóide oblato, isto é, uma esfera elíptica levemente achatada nos pólos. No entanto, para fins práticos, a Terra pode ser considerada praticamente esférica, dadas suas dimensões e o fato da diferença entre os raios polar e equatorial representar tão somente 0,33% de achatamento.

1.2 Evidências concretas para a esfericidade da Terra

1.2.1 A sombra da Terra na Lua

Alguns dos argumentos, já levantados na Antiguidade, continuaram sendo apresentados em outras épocas e inclusive usados com finalidades práticas. Quando a Lua está entrando na sombra da Terra ou saindo dela, durante os eclipses lunares, a linha que separa a parte escura da parte iluminada é sempre curva. Deduzimos que essa linha curva, que traça a sombra da Terra sobre a Lua, só pode ser produzida por um corpo que tenha forma esférica. A figura 4 mostra a Lua durante um eclipse lunar.



Fig. 4: Eclipse lunar total de 1994. A linha que separa a parte iluminada da Lua da parte escura corresponde à curvatura da Terra, que é o corpo que está interceptando a luz solar. A linha avança de posição à medida que a Lua se movimenta no céu. Disponível em <http://www.theastronomer.org/eclipse.html>.

1.2.2 A altura das estrelas e as constelações visíveis em cada região

A altura das estrelas no céu é determinada a partir da medida do ângulo entre o horizonte e o ponto no qual está a estrela. Se a superfície da Terra fosse plana, em diferentes pontos da Terra, por mais distantes que estiverem entre si, deveríamos ver as mesmas estrelas. Mas não é o

que ocorre. Em pontos distintos da superfície da Terra, muda o plano do horizonte e a altura das estrelas muda também. As diferentes alturas de estrelas conhecidas em relação ao horizonte do lugar são uma evidência importante da Terra esférica. Há diferentes programas ou sites na Internet que permitem comparar as configurações do céu para diferentes lugares – em diferentes latitudes – para uma mesma data. A simulação disponível em <http://www.walter-fendt.de/a14e/celpoles.htm>, por exemplo, demonstra como muda a altura do pólo celeste elevado conforme a latitude do observador.

Relatos de viajantes, já na Antiguidade, registram que estrelas visíveis num ponto somem do céu em outro lugar. Aristóteles, no séc. IV a.C, explorou esse argumento, de que estrelas vistas em Chipre (um pouco ao sul da Grécia) já não eram mais visíveis em sua terra natal. Também o famoso viajante Marco Pólo, (1254-1324), que explorou grande parte da Ásia e da Europa oriental, conta, nos relatos de suas viagens, que em Java a estrela Polar não é mais visível. A visibilidade das estrelas orientava, assim, viajantes por terra e por mar.

A estrela Polar é uma estrela de referência muito importante para o hemisfério norte, por estar muito próxima do pólo celeste norte. Foi e é amplamente utilizada para a orientação dos navegantes. No entanto, à medida que as navegações avançavam em direção ao sul, como ao passar a linha do equador, a estrela Polar deixa de ser visível, novas estrelas outras constelações foram identificadas e adotadas como marco de orientação. A constelação do Cruzeiro do Sul é tão famosa por causa disso. Tudo indica que foi identificada e reconhecida como constelação pela primeira vez pelo mestre João Faras, astrônomo da esquadra de Cabral, embora não haja registros de que ele a tenha usado para determinar latitudes. Contudo, logo o Cruzeiro do Sul passou a ser utilizado para a orientação e para a determinação de latitudes no hemisfério sul (Mourão, 2000, p.135). Assim, vemos que o céu teve um papel importante para orientar aqueles que, com pouquíssimos recursos para se orientar, (não tinham sequer cronômetros, o que falar de GPS...) cumpriram a tarefa desafiadora de viajar pelo mundo e contribuir decisivamente para construir o conhecimento que temos hoje sobre a geografia terrestre.

O uso do conhecimento astronômico nas navegações nos séculos XV e XVI demonstra a importância dessa ciência para o desenvolvimento do conhecimento da humanidade sobre a própria Terra. Noções mais concretas sobre as reais dimensões da Terra, outrora subestimadas, são alcançadas à medida que o globo terrestre é explorado nas navegações. Surge a necessidade de sistematizar e organizar os conhecimentos já disponíveis sobre nosso planeta, e esse fator

impulsiona o desenvolvimento de diferentes áreas de conhecimento. A necessidade de mapas mais completos e que localizassem corretamente os lugares sobre a superfície terrestre leva ao desenvolvimento da cartografia, ciência que descreve e representa a configuração geográfica. Sugerimos uma leitura complementar para quem tiver interesse em conhecer melhor a contribuição da astronomia nas navegações (texto complementar “A Astronomia e as navegações”, no Apêndice 3 dessa dissertação, ou a obra de Mourão, 2000).

Enfim, vemos que a observação e o conhecimento do céu tiveram papel decisivo na busca de argumentos e evidências que consolidaram nosso conhecimento sobre a forma da Terra. Essas evidências são a variação da altura das estrelas e a variação das constelações visíveis para um observador, conforme a localização geográfica na superfície terrestre.

Atividade 1: Realizar atividades sugeridas no Guia de Atividades 1 (Apêndice 5). A seguir, fotografia ilustrando a realização da Atividade I do referido guia (figura 5).



Figura 5: projeção de sombras em superfícies esféricas.

1.3 Dimensões da Terra

1.3.1 A determinação do Raio Terrestre por Eratóstenes

Embora na Grécia antiga a idéia de terra esférica não fosse consenso, alguns dos filósofos que partilhavam desse modelo tentaram estimar o tamanho da Terra. Estimando sua circunferência, poderiam obter o valor médio do raio terrestre, pela relação $c = 2\pi r$.

Aristóteles estimou a circunferência terrestre em 400.000 estádios, o dobro do valor atual. Arquimedes estimou-a em 300.000 estádios, comparando quais constelações passavam no zênite de duas cidades, Lismachia e Siena. Mas foi Eratóstenes, baseado em pressupostos físicos teoricamente corretos, quem estimou com uma boa precisão o valor da circunferência terrestre. Ele apoiou seu raciocínio nas seguintes hipóteses: i) a Terra é redonda. ii) os raios solares que chegam à Terra são paralelos. iii) as cidades de Siena e Alexandria, ambas no Egito, estão situadas no mesmo meridiano terrestre. No texto complementar sobre “O problema da longitude” (Apêndice 3), descrevemos, resumidamente, o procedimento adotado por Eratóstenes para medir a circunferência terrestre.

1.3.2 A massa da Terra

Ao contrário do raio terrestre, que foi estimado com precisão já na Antiguidade, a determinação da massa da Terra só ocorreu na era moderna, depois de Newton determinar a lei da Gravitação Universal. A massa terrestre foi medida por Henry Cavendish, cerca de um século depois de Newton publicar seu trabalho sobre a força gravitacional.

Newton percebeu que há um tipo de atração entre dois corpos quaisquer e que essa atração depende das massas dos corpos interagentes, da distância entre eles e de uma constante, G , denominada constante de gravitação universal. Por outro lado, constatou que a existência dessa força era devida à existência de campos gravitacionais. Newton também sabia que a aceleração de corpos em queda livre não depende da massa desses corpos, fato esse observado anteriormente por Galileu. Com base nesses fatores, desenvolveu suas hipóteses e cálculos e chegou à conclusão de que a intensidade do campo gravitacional depende apenas da massa do planeta que o está produzindo. Mas o que isso tem a ver com a massa da Terra?

Vejamos. A força gravitacional existe entre todo e qualquer corpo dotado de massa. A intensidade de um campo gravitacional depende da massa e do raio do planeta que produz o campo e da constante G . Na época de Newton, a aceleração da gravidade, g , e o raio terrestre, R , eram conhecidos com precisão razoável, mas ele apenas estimava com pouca precisão o valor da constante de gravitação G . Aí é que entra Cavendish. Num experimento cuidadoso e delicado, com uma balança de torção, conseguiu observar que duas massas pequenas suspensas e em equilíbrio eram desviadas, quando duas esferas maiores eram aproximadas das esferas suspensas.

Medindo esse desvio, pôde confirmar que havia atração gravitacional entre as duas esferas e determinar o valor de G . Os valores g e R já eram conhecidos. Agora, com seu experimento, Cavendish obteve o valor da constante da gravitação universal. Reuniu esses dados e, aplicando-os à equação deduzida por Newton, determinou a massa terrestre em $M = 5,98 \times 10^{24}$ kg.

1.4 Latitude e longitude

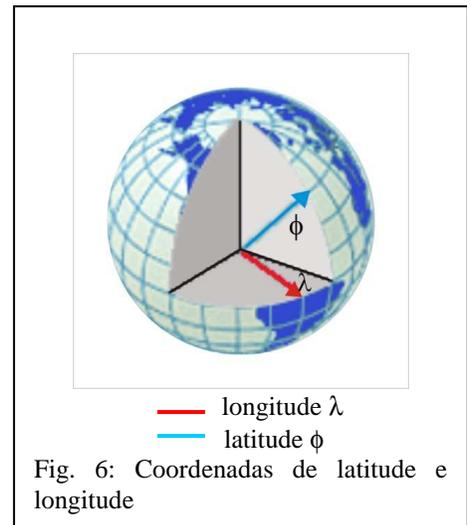
1.4.1 Definição geográfica

Como nos orientamos numa superfície esférica? A maneira mais prática, e usada há muito tempo, é adotar um sistema de coordenadas baseadas em ângulos. O sistema de coordenadas usado para registrar posições na superfície da Terra baseia-se em duas componentes: a latitude ϕ e a longitude λ .

A latitude ϕ de um lugar é medida sobre o meridiano que passa pelo lugar e é determinada como a distância angular entre o equador terrestre e o paralelo do lugar. É medida a partir do equador, e varia de 0° a 90° , para norte ou para sul. Latitudes a norte são positivas e latitudes a sul são negativas.

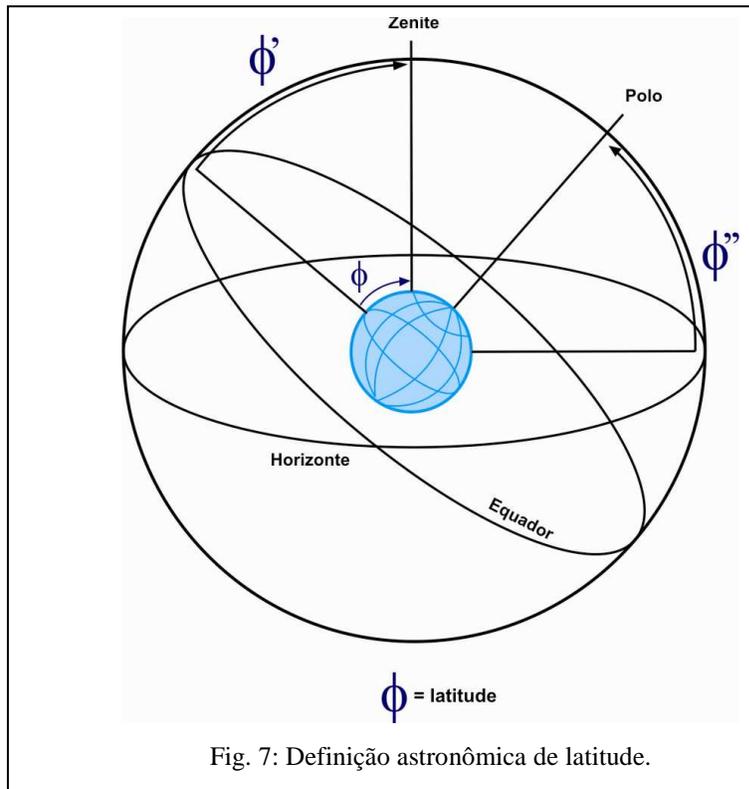
A longitude λ de um lugar é a medida sobre o equador, a partir do Meridiano de Greenwich, até o meridiano que passa pelo lugar. Varia de 0° a 180° para leste ou para oeste de Greenwich. Por convenção, longitudes ao leste são negativas e longitudes a oeste são positivas. Outra forma de medir a longitude de um lugar é saber a diferença entre a hora local e a hora de Greenwich, tomada como Hora Universal, já que esse meridiano ($\lambda=0^\circ$) foi adotado como referência para o sistema de fusos horários, por convenção. Nesse caso, as longitudes a oeste de Greenwich variam de 0 a -12 h e as

longitudes a leste variam de 0 a +12h. A figura 6 representa as coordenadas de latitude e longitude a partir de seus planos fundamentais: o equador e o meridiano de Greenwich.



1.4.2 Definição astronômica de latitude

Sabemos que a latitude geográfica de um lugar é o ângulo entre o equador terrestre e o paralelo que passa pelo lugar (ângulo ϕ na figura 7). Pela figura 7, vemos que esse ângulo ϕ é igual ao ângulo ϕ' entre o equador celeste (o equador celeste é um prolongamento do equador terrestre) e a reta que aponta para o zênite (o ponto que está exatamente acima da cabeça do observador). Portanto, a latitude de um lugar é igual ao ângulo entre o equador e o zênite desse lugar.



Ainda examinando a figura 7, notamos que, se girarmos o ângulo ϕ' até que a reta que aponta para o zênite fique paralela ao horizonte, a linha que aponta para o pólo vai ficar paralela ao equador, o que prova que o ângulo ϕ'' é igual ao ângulo ϕ' . Portanto, o ângulo ϕ'' , que é a altura do pólo celeste visível para o observador, é igual à latitude do lugar em que se encontra o observador. Ou seja, na figura 7, $\phi = \phi' = \phi'' =$ latitude.

Como a vertical do lugar é perpendicular ao horizonte, e o eixo

de rotação da esfera celeste é perpendicular ao equador, o ângulo entre o equador e vertical do lugar é igual ao ângulo entre a direção do pólo elevado e o horizonte do lugar.

Sugerimos o site <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm> para complementar as informações, assim como listamos, a seguir, algumas curiosidades para as quais o professor pode desafiar os

alunos a pesquisarem. Nos referimos a todas elas, de maneira breve, no texto complementar nº 2, *O problema da Longitude* (Apêndice 3).

Curiosidades

- Por que Greenwich é o meridiano de referência?
- O problema de medir a longitude.
- A origem das coordenadas de latitude e longitude
- A Linha Internacional de Data
- O estádio de futebol chamado ZERÃO. Você sabe onde fica?

1.5 Por que a Terra é redonda?

A Terra é esférica. Porém, rigorosamente falando, ela não é uma esfera perfeita. Devido ao efeito dinâmico do movimento de rotação da Terra em torno de seu eixo, nosso planeta tem um achatamento polar e um abaulamento equatorial, ou seja, uma projeção de massa na direção radial e para fora. O resultado disso é que o raio equatorial é levemente maior que o raio polar. Esse formato é denominado esferóide oblato e é a forma que mais apropriadamente define nosso planeta. No guia de atividades sobre as dimensões e a forma da Terra (Apêndice 4), apresentamos algumas situações nas quais o fato da Terra não ser perfeitamente esférica é relevante.

Mas por que a Terra é redonda? Devido à atração gravitacional mútua de todas as incontáveis partículas que a constituem. Mesmo que percebamos a Terra como um grande corpo, sabemos que ela é constituída de materiais com características muito variadas. Assim, pode ser imaginada como um agrupamento de muitos milhões de fragmentos de matéria, cada qual atraído gravitacionalmente pelos demais. Essa atração mútua entre cada partícula de matéria faz com que elas tendam a ficar o mais próximo possível umas das outras. Concluimos, então que o formato arredondado da Terra, e também de outros astros celestes, é resultado da atração gravitacional que o planeta exerce sobre si mesmo.

Capítulo 2: Campos e forças gravitacionais

2.1 Campos gravitacionais

Campo é um termo usado para descrever variações nas condições de uma determinada região do espaço. Um campo elétrico pode ser sentido pela atração ou repulsão de objetos eletrizados que estejam na sua presença. Um campo magnético é percebido pela atração de determinadas classes de materiais por ímãs. A queda de objetos na direção da superfície de um planeta é uma manifestação do campo gravitacional desse planeta, que atrai corpos na sua direção; a existência de um campo gravitacional também é responsável pelo movimento dos astros e pela órbita de satélites naturais e artificiais. Campos gravitacionais produzem forças gravitacionais, assim como um campo elétrico ou magnético produz uma força elétrica ou magnética. A interação gravitacional entre dois ou mais corpos é que faz com que as trajetórias dos planetas em torno do Sol, dos satélites em torno dos planetas, e dos satélites artificiais em torno da Terra, sejam curvas. Lembre que o **Peso** de um corpo é a manifestação da força gravitacional da Terra sobre ele.

2.2 Força gravitacional. A Lei de Newton da Gravitação Universal

Força pressupõe interação entre os corpos. Que tipo de interação é responsável pela órbita dos planetas em torno do Sol? _____

Ao estudar as leis de Kepler, Newton observou que, uma vez que os planetas descrevem órbitas em torno do Sol¹², eles devem estar sujeitos a alguma força centrípeta, pois do contrário, suas trajetórias seriam retilíneas e não curvas. Concluiu, então, que suas três leis do movimento poderiam ser válidas também para os movimentos celestes. Trabalhando arduamente com essa idéia, Newton concluiu que deveria haver uma força, que chamou de **gravitacional**, a qual era a responsável pelo movimento dos planetas em torno do Sol. Deduziu que a força entre cada planeta e o Sol tem as seguintes propriedades:

¹² Newton, como Galileu e Kepler, concordava com o modelo heliocêntrico para a descrição do Sistema Solar.

- Atrai o planeta no sentido do Sol e o Sol no sentido do planeta. Age segundo uma linha reta que passa pelos centros do planeta e do Sol.
- É proporcional ao produto entre a massa do Sol e a massa do planeta.
- É tanto menor quanto mais afastado o planeta estiver do Sol. Deduziu, ainda, que a intensidade da força gravitacional decresce proporcionalmente com o quadrado da distância:

$$F_g \propto \frac{1}{d^2}$$

- Depende também de uma constante, G , denominada constante de gravitação universal.

2.2.1 Intensidade da força gravitacional

Newton, ao estabelecer de quais parâmetros dependiam a interação gravitacional, propôs sua Lei de Gravitação universal na forma matemática, como descrito a seguir.

EQUAÇÃO DA FORÇA GRAVITACIONAL

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{d^2}$$

Eq. (1)

G = constante da gravitação universal $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

m_1 = massa de um corpo (geralmente, M maiúsculo designa a massa do planeta que cria um campo gravitacional significativo)

m_2 = massa do corpo que está interagindo com o outro, de massa m_1 .

d = distância entre os dois corpos.

A grande ousadia de Newton, que se transformou num triunfo, foi generalizar a existência de força ou interações gravitacionais entre dois corpos quaisquer. Ele propôs que a mesma força que faz uma maçã cair de uma árvore e uma bola rolar morro abaixo faz a Lua orbitar a Terra e a Terra e os demais planetas orbitarem o Sol: é a força gravitacional. Por isso, denominou sua nova lei de **Lei da Gravitação Universal**. Hoje, sabe-se que a interação gravitacional é válida para toda a matéria, desde a escala atômica até a cósmica. No entanto, no mundo micro, é uma interação tão fraca que torna-se imensurável, e é insignificante comparada às interações de origem nuclear ou eletromagnética que são muito intensas entre os objetos atômicos.

Aplicamos, agora, a equação para obter a força gravitacional entre dois corpos quaisquer para saber qual é a intensidade da força gravitacional entre a Terra e um corpo de massa $m = 1\text{ kg}$ situado na superfície. Note que a distância utilizada, neste caso, é o próprio raio terrestre, ou $d = R_T$.

$$F_g = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24} \times 1,0}{(6,4 \times 10^6)^2} = 9,8\text{ N}$$

Ao obtermos a intensidade da força gravitacional ($=9,8\text{ N}$), para um corpo de 1 kg de massa, podemos aplicar a 2ª lei de Newton para saber a qual aceleração esse corpo é submetido na presença do campo gravitacional terrestre.

$$F = m.a \Rightarrow 9,8\text{ N} = 1\text{ kg}.a \Rightarrow a = \frac{9,8\text{ N}}{1,0\text{ kg}} \Rightarrow a = 9,8\text{ N/kg} \quad \text{ou} \quad a = 9,8\text{ m/s}^2$$

Por outro lado, sendo $g = 9,8\text{ N/kg}$ um valor já conhecido, a equação acima, em combinação com a equação (1), pode ser usada para determinar a massa da Terra¹³, pois essa combinação leva a $g = \frac{GM}{R^2} \Rightarrow M = \frac{gR^2}{G}$.

Substituindo os valores: $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2$, $g = 9,8\text{ N/kg}$ e $R = 6,4 \cdot 10^6\text{ m}$, obtemos, para a massa da Terra, $M = 5,98 \cdot 10^{24}\text{ kg}$.

Ora, $9,8\text{ m/s}^2$ é o valor médio da aceleração da gravidade a que **qualquer corpo** nas proximidades da superfície terrestre está submetido e é a aceleração usada para determinar o Peso de um corpo. Já sabíamos que o peso dos corpos, por sua vez, é o resultado de uma interação à distância de qualquer corpo com um campo gravitacional. De fato, se calcularmos o peso de um corpo de massa 1 kg através da 2ª lei de Newton para o movimento, $P = m.g$, também encontraremos $9,8\text{ N}$! Concluimos, então que o peso de um corpo é igual à força gravitacional entre esse corpo e o planeta que cria um campo gravitacional, quando a distância que os separa é igual ao raio do planeta.

2.2.2 Intensidade do campo gravitacional

¹³ Ver item 1.3.2, pág. 36.

A partir do exposto acima, podemos igualar as duas equações para o peso, na forma da 2ª lei de Newton e na forma da Lei da Gravitação Universal. E o que encontraremos? Uma equação válida para definir a intensidade do campo gravitacional de um astro qualquer!

Temos que $P = F_g$, para corpos na superfície terrestre.

Substituindo as equações, teremos: $mg = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

o que leva a que g dependa da massa M do planeta, da constante da gravitação universal G , e do raio R do planeta.

$$g = \frac{GM}{R^2} \text{ Eq. (2)}$$

No caso particular de corpos situados na superfície de um planeta ou muito próximos a ele ($d \approx R$), a distância d é igual ao raio R do planeta. Porém, à medida que nos afastamos da superfície, e a distância d fica significativamente maior que o raio planetário, ($d \gg R$), a intensidade do campo gravitacional é afetada por esse maior afastamento, como veremos adiante.

Assim, **temos que a intensidade do campo gravitacional produzido por um corpo, no caso a Terra, depende apenas da massa M desse corpo, e não depende da massa dos corpos que com ela interagem gravitacionalmente.**

Galileu já havia chegado a esse resultado, um pouco antes de Newton, pois observou experimentalmente que todos os corpos, em queda livre, caem com a mesma aceleração, embora não atribuísse esse comportamento a uma força.

2.2.3 Variações na intensidade do campo gravitacional

2.2.3.1. Variações com a altitude.

A equação (2) torna evidente que a intensidade do campo gravitacional de qualquer corpo tende a diminuir com o quadrado da distância. Assim, à medida que a distância a partir da superfície da Terra aumenta significativamente, a intensidade do campo gravitacional diminuirá. Então, na equação (2), a distância total d deve ser substituída pela expressão $R + h$ (R é o raio do

planeta e h é a distância a partir da superfície), pois à medida que nos afastamos da superfície da Terra, a distância total até seu centro (raio orbital) é $d = R + h$, e g passa a ser dado por

$$g = \frac{GM}{(R + h)^2}. \text{ Eq. (3)}$$

Na atividade nº 2 do guia de atividades sobre campos gravitacionais (Apêndice 6), discutiremos exemplos para diferentes altitudes a partir da superfície terrestre, a partir de atividade em planilha de cálculo (ver figura 8).

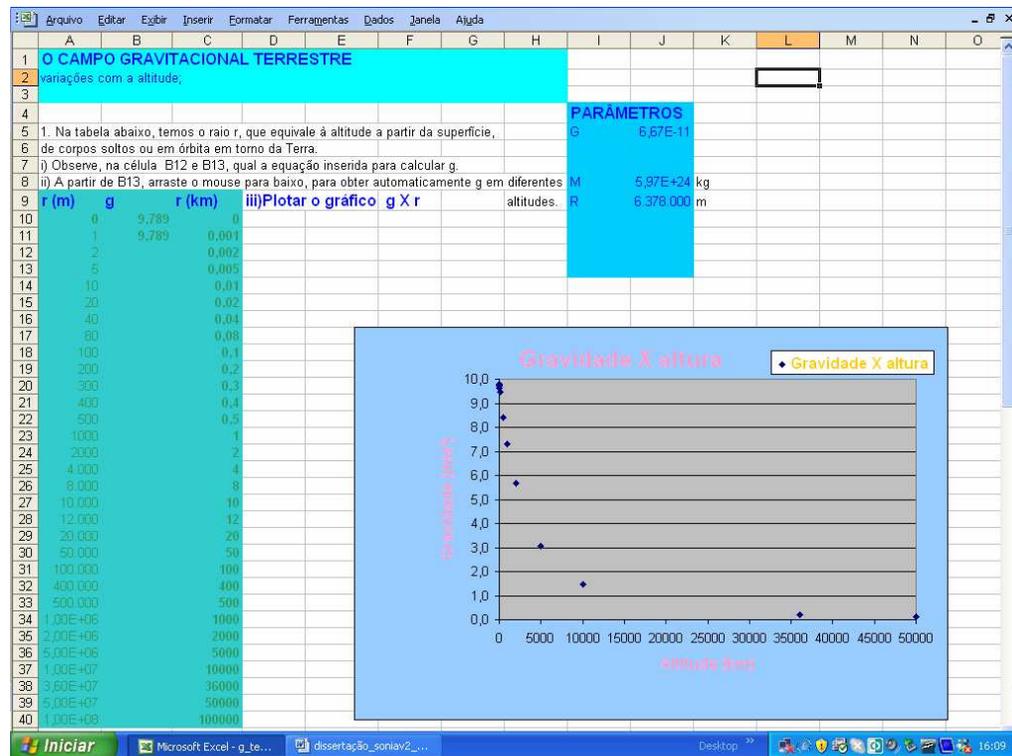


Figura 8: Planilha-modelo para análise das variações da gravidade com a altitude.

2.2.3.2. Variações com a latitude

A aceleração da gravidade sofre variação com a latitude devido a dois fatores combinados. O primeiro é o leve aumento do raio da Terra em direção ao equador, que é decorrente dos fatos de a Terra estar girando sobre si mesma e não constituir um corpo perfeitamente rígido. O

segundo fator que contribui para a variação de g com a latitude é o movimento de rotação da Terra.

Contribuição do primeiro fator: Na equação 2 vimos que g é inversamente proporcional ao quadrado do raio da Terra, portanto se o raio da Terra varia com a latitude, a aceleração da gravidade varia da mesma maneira. Este fator faz a aceleração da gravidade nos pólos ser $0,0184 \text{ m/s}^2$ maior do que no equador. Note que é uma variação muito pequena.

Contribuição do segundo fator: Devido ao fato de estar em movimento circular, a Terra não é um referencial inercial. Nesse caso, há uma aceleração centrífuga cujo efeito é projetar os corpos para ‘fora’. A aceleração da gravidade, g , é, então, a aceleração real a que um corpo será submetido nas proximidades da Terra, definida como a resultante entre a aceleração gravitacional a_g (a intensidade do campo gravitacional se a Terra não estivesse em rotação) e a aceleração centrífuga, a_c , considerando-se um referencial não inercial. A aceleração centrífuga é tanto maior quanto maior a distância ao eixo de rotação, portanto ela é máxima no equador e nula nos pólos. A rotação da Terra faz com que a aceleração da gravidade no equador seja $0,0336 \text{ m/s}^2$ menor do que nos pólos, sendo mais importante para a variação de g com a latitude do que o achatamento polar da Terra.

Combinando-se esses dois fatores, temos que a aceleração da gravidade, g , tem um valor máximo nos pólos e mínimo no equador. A tabela 1 expressa essas variações com a latitude.

Variação de g com a latitude (ao nível do mar)	
Latitude (°)	g (m/s ²)
0°	9,780
20°	9,786
40°	9,802
60°	9,819
80°	9,831
90°	9,832

Tabela 1: variações do campo gravitacional com a latitude. Adaptado de Alvarenga e Máximo, 2005.

2.3 O triunfo da Gravitação Universal – aspectos históricos

Newton (1642-1727) publicou seu trabalho dos *Principia* em 1687, como um resultado de praticamente 20 anos de trabalho e de estudo sobre os movimentos. Suas primeiras descobertas e hipóteses nessa área datam de 1666, ano em que uma grande peste assolou a Grã-Bretanha. Por causa disso, Newton teve de refugiar-se na propriedade familiar onde nascera, em Woolsthorpe, pois o colégio em que estudava foi fechado. Se para a Europa o ano de 1666 foi trágico, para Newton foi muito promissor, pois desenvolveu um amplo trabalho que envolveu a matemática, além de diferentes campos da física. Nesse período é que concebe suas primeiras hipóteses para a gravitação. Também trabalhou com uma teoria para a luz, que era um fenômeno que o encantava. O ano de 1666, por essas razões, é considerado o seu *annus mirabilis* (ano dos milagres).

Assim, os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, ou, abreviadamente, os *Principia*, é uma obra na qual Newton apresenta, desenvolve, comprova e formaliza suas idéias sobre movimentos celestes e terrestres, organizadas num sistema muito coerente e axiomático de leis matemáticas. Para muitos, essa obra de Newton é considerada a maior obra científica de todos os tempos. Vejam como Ponckzek (2002, p.105), descreve essa importante obra e seu conteúdo.

Os *Principia* constituem a primeira grande exposição e a mais completa sistematização da Física Clássica, sintetizando em uma única obra toda a cinemática de Galileu e a Astronomia de Kepler. Maças, luas, planetas, sóis e cometas seriam regidos pelo mesmo conjunto democrático de leis, acabando-se com mais de dois milênios de dicotomia aristotélica entre o imperfeito e o transitório mundo terrestre e o perfeito e imutável universo dos céus.

De fato, o trabalho de Newton representa a primeira unificação importante na história da Física. Ele unifica a descrição de movimentos celestes e terrestres a partir de um mesmo conjunto de leis e princípios físicos, que são válidos em ambos os contextos. O impacto de seu trabalho sobre os rumos da ciência é enorme. Num período em que a visão mecanicista e corpuscular para descrever os fatos e fenômenos era predominante, a aceitação e a compreensão do conteúdo de sua obra foi diversificada. Suas leis para o movimento foram muito bem aceitas, pois estavam apoiadas em pressupostos e hipóteses já difundidas, como a noção de inércia e a cinemática de Galileu, a conservação da quantidade de movimento de Descartes, o estudo das colisões, de Huyngens. Além disso, as leis de Newton do movimento foram mais facilmente entendidas, pois

implicavam a descrição de interações de contato entre corpos próximos (Ponckzek, 2002, p.107). Já a lei de Newton para a gravitação foi recebida com reservas e mistério, pois pressupõe a interação à distância entre os corpos, um efeito inconcebível no contexto do século XVII.

Enquanto as leis para o movimento eram mensuráveis e podiam ser comprovadas, e.g., em experimentos práticos envolvendo colisões, a natureza da força gravitacional não possibilitava esse tipo de ‘teste’. A gravidade era suposta como uma propriedade inata da matéria e apesar de descrever corretamente uma variedade de fenômenos (as órbitas planetárias, as marés), sua origem permaneceu obscura. No período posterior a 1687, e à medida que a Lei da Gravitação foi sendo utilizada para explicar novos fenômenos no campo da Astronomia, é que ela realmente se consolida como uma lei que expressa corretamente as interações entre corpos terrestres e celestes. Discutiremos rapidamente dois casos emblemáticos.

Perturbações nas órbitas planetárias. Kepler havia previsto, em sua primeira lei, que as órbitas são elípticas. Porém, astrônomos contemporâneos de Newton perceberam que os planetas se afastavam ligeiramente da órbita que Kepler previra. Newton, então, demonstra que esses pequenos desvios de órbita ocorrem porque além da interação gravitacional com o sol, os planetas interagem também entre si. O fenômeno, portanto, corrobora a tese de Newton de que a gravitação é universal, pois não é apenas a força gravitacional do sol que está agindo nos planetas.

A Descoberta de Netuno. Até a época de Newton, somente seis planetas eram conhecidos. Logo após sua morte, é descoberto Urano. Os astrônomos, então, usam a lei da gravitação de Newton para prever sua órbita. Só que Urano manifestava desvios em relação a essa órbita prevista, que era calculada considerando-se a interação com o Sol e com os planetas então conhecidos. Havia duas hipóteses: ou a lei da gravitação falhava para grandes distâncias, ou haveria um outro astro, um novo planeta, próximo a Urano e que perturbava mais intensamente sua órbita. Dois cientistas, de forma independente, trabalharam com a segunda hipótese. Analisando as perturbações em Netuno, supuseram a existência de um oitavo planeta e indicaram em que região do céu deveria ser procurado. Um desses cientistas foi o inglês J.C. Adams, e o outro, U. Leverrier, francês. Ambos dirigiram-se por carta a importantes observatórios da época, embora o resultado dessa iniciativa culminou de forma diferente para um e outro. A sugestão de Leverrier foi logo atendida em Berlim, enquanto o pedido de Adams não teve muito crédito em

Greenwich e foi deixado de lado¹⁴. As previsões de ambos se confirmaram: havia um oitavo planeta, próximo a Urano, interferindo em sua órbita. Era a descoberta de Netuno, em 1846, mais de um século depois da publicação dos Principia, confirmando a validade da Lei da gravitação!

2.4 Aplicações da Gravitação Universal

Vários fenômenos podem ser explicados no contexto das interações gravitacionais. Alguns foram descritos pelo próprio Newton, outros foram explicados por outros cientistas que aplicaram a lei da gravitação para descrever fenômenos e situações que surgiram após a morte de Newton. Veremos alguns casos nos quais se aplica a interação gravitacional para compreender e prever um fenômeno.

➤ O movimento de **queda dos objetos** talvez seja a manifestação mais simples da força gravitacional em nosso cotidiano. Essa queda ocorre porque todo corpo na superfície terrestre ou próximo dela experimenta a ação da força gravitacional, que é mais conhecida como força-peso. Newton explicou a queda dos corpos como um fenômeno originado da interação gravitacional dos corpos em geral com a Terra. A aceleração com a qual os corpos caem depende da intensidade do campo gravitacional, que varia de planeta para planeta conforme seu raio e sua massa.

➤ As **marés** também são um fenômeno para o qual já Galileu propusera uma explicação, a partir da composição de movimentos, mas Newton é que explica esse fenômeno da elevação periódica das águas oceânicas a partir de interações gravitacionais da Terra com a Lua e o Sol. Para saber mais, sugerimos o texto complementar nº 3 do Apêndice 3 (Fenômenos com origens nas interações gravitacionais).

➤ O **movimento da Lua em torno da Terra** também se justifica devido à existência de interação gravitacional entre esse satélite e nosso planeta. Newton é que consegue, aplicando sua teoria da gravitação e suas leis do movimento, descrever e explicar satisfatoriamente o movimento da Lua em torno da Terra, problema do qual muitos astrônomos haviam se ocupado anteriormente, mas não chegavam a uma descrição precisa. O histórico problema de medir a

¹⁴ Atualmente, há controvérsias sobre quem realmente descobriu Netuno, já que os dois tiveram o mérito de sugerir a existência de mais um planeta, embora o 'achado' de Netuno no céu esteja relacionado à correspondência de Leverrier ao Observatório de Berlim.

longitude, de cuja solução dependia o êxito e a segurança das viagens marítimas, tinha como uma possível solução o estudo e a comparação de posições da Lua durante sua órbita. Porém, além de ser uma solução de pouca viabilidade prática, também tinha-se pouco conhecimento sobre o movimento lunar. Essa definição mais precisa da órbita lunar só veio com o trabalho de Newton. Cronologicamente, isso significa que todo o período das grandes navegações (final do séc. XV e todo o séc. XVI) transcorreu com os navegadores estimando longitudes com pouca precisão, a partir da Lua. A solução mais simples, de medir longitudes através de relógios (diferenças de horário), só ocorre no séc. XVIII, e demora quase todo o século para ser reconhecida e implantada na navegação.

➤ Anteriormente a Newton, as **órbitas planetárias** já foram descritas satisfatoriamente por Kepler, cujo trabalho, sintetizado em três leis, foi fundamental para o desenvolvimento da Astronomia. Kepler, ao estudar exaustivamente dados observacionais que estavam à sua disposição, deduz que as órbitas dos planetas são elipses (1ª Lei), e não círculos, hipótese na qual vários de seus antecessores estiveram presos e ele próprio relutou em abandonar. Também percebe que a velocidade orbital de um planeta não é constante, aumentando quando o planeta se aproxima do sol e diminuindo quando o planeta se afasta dele (2ª Lei). Por fim, percebe que há uma relação entre o raio médio e o período orbital dos planetas (3ª lei). No entanto, o trabalho de Kepler é de caráter descritivo e empírico, pois ele se dedica mais a descrever os movimentos do que a explicá-los, o que é feito posteriormente por Newton. Inclusive, as leis de Kepler podem ser deduzidas a partir das Leis de Newton.

➤ **A forma arredondada dos planetas e estrelas** também é uma consequência da atração gravitacional que todas as partículas que constituem um corpo exercem entre si.

➤ **A existência de Netuno** foi um fato previsto teoricamente a partir da lei da gravitação. Ocorreu depois da morte de Newton.

➤ **A descoberta de Plutão**, em 1930, ocorreu de forma similar a de Netuno. A existência de Plutão foi prevista para explicar tanto perturbações nas órbitas de Netuno, que estariam sendo provocadas por um planeta até então não localizado, quanto a estudos mais minuciosos da órbita de Urano.

➤ **O movimento de precessão terrestre** também está relacionado a causas gravitacionais (Ver Apêndice 3, texto complementar 3, sobre efeitos da gravitação).

➤ Na era contemporânea, estruturas como **buracos negros**, e processos como a evolução estelar, também são descritos segundo uma perspectiva gravitacional. Embora atualmente a descrição clássica para a gravitação como proposta por Newton não dê conta de explicar esses fenômenos e outras áreas de estudo da cosmologia, a interação gravitacional é reconhecida como uma das quatro interações fundamentais da matéria existente no Universo, e esse é um triunfo que não pode ser tirado de Newton. Descrevemos um pouco mais essas estruturas no texto complementar 3.

➤ Outro exemplo atualíssimo da aplicação da gravitação e do qual depende nosso futuro é quanto ao **destino do Universo**. Os cosmólogos da atualidade colocam na intensidade da atração gravitacional total existente no Universo a possibilidade deste se expandir para sempre ou rumar para um colapso final, similar ao que foi a explosão inicial.

Atividade 2: Realizar as atividades sugeridas no Guia de Atividades sobre campos e forças gravitacionais. (Apêndice 7)

Capítulo 3: Fenômenos astronômicos e os movimentos da Terra

3.1 Fenômenos astronômicos e a passagem do tempo

O ritmo da vida moderna é cada vez mais acelerado. Temos cada vez mais tarefas e atividades para realizar. É muito comum as pessoas reclamarem que o ‘tempo está passando mais rápido’ ou que ‘parece que o dia está mais curto’. Quem nunca ouviu isso? Nesse corre-corre alucinante, raramente paramos para apreciar as coisas simples, ou para fazer coisas que realmente gostamos, ou, ainda, para simplesmente ficar divagando e pensando sobre assuntos que não sejam os nossos compromissos, ansiedades e mazelas. Mas será que o tempo de fato está fluindo mais rápido? Que resposta a Física nos oferece? Para começar, há mais de uma resposta possível. No contexto da física moderna, de acordo com a teoria da relatividade de Einstein, o fluxo do tempo é diferenciado conforme o referencial do observador. Numa descrição clássica – que é a que estamos adotando nesse trabalho - no entanto, as medições de intervalo de tempo independem do referencial adotado. Antes de discutirmos se o nosso tempo cronológico de fato está ‘voando’, cabe primeiro discutir qual é a origem do tempo.

Provavelmente não nos demos conta, mas nossas unidades de medida para a passagem do tempo estão associadas à repetição, ou regularidade, de alguns fenômenos que acontecem na natureza, independente de prestarmos atenção neles ou não. O *dia*¹⁵ está associado à sucessão de dias (com luz) e noites. Assim, um *dia* dura 24 horas. A divisão do *dia* em 24 horas remonta à Antiguidade. Os mesopotâmicos, inicialmente, dividiram o dia e a noite em ciclos de 12 horas cada um. Também a divisão das horas em minutos e segundos foi realizada por esse povo e é usada até hoje.

O que é um ano? O que significa comemorar aniversários anualmente? Ora, significa que um ano se passou! Mas o quê determinou a duração do ano? A sucessão de períodos climáticos com diferentes características, que depois de um certo tempo se repetem, é o fenômeno natural que demarca a duração de um ano. Esse fenômeno são as estações do ano. Menos intensamente na região equatorial da Terra, períodos chuvosos e secos, de calor ou de frio intensos, se alternam

¹⁵ A notação *itálica* será usada para designar o dia enquanto ciclo de 24 horas, que é a duração do dia solar.

com períodos mais amenos em termos de clima e temperatura e esse ciclo determina o ano. Então, numa primeira definição, ano é o período de tempo necessário para que ocorra um ciclo completo das estações, o que ocorre em aproximadamente 365 dias.

E o mês, o que é? Todos os meses têm a mesma duração? Você sabe na ponta da língua quais meses têm 30 dias e quais têm 31? Por que não é tudo igual? Por que são 12 meses? A história (e a resposta) é longa. Uma leitura complementar, para conhecer a origem das unidades de tempo e a história dos calendários, vale a pena ser feita. Sugerimos a obra “**Que dia é hoje?**” de Ronaldo Rogério Freitas Mourão, de leitura rápida e agradável.

O mês tem sua origem associada com o fenômeno das fases da lua, apesar da duração dos meses não coincidir exatamente com a duração de um ciclo lunar. Então, numa definição não tão rigorosa, o mês foi concebido como o período de tempo decorrido entre uma fase de lua cheia e a fase de lua cheia seguinte. A semana, por sua vez, pode ser associada tanto à duração aproximada de uma fase principal da lua, quanto à atitude contemplativa de dedicar um dia para cada astro. Uma vez que a semana foi concebida em uma época na qual, além da Terra, somente 5 planetas eram conhecidos, ela foi organizada como um período de tempo de sete dias, cada um dedicado a determinado astro. Cinco dias foram dedicados aos planetas, um ao Sol e um à lua, homenageando os deuses associados a cada um desses astros. Na tabela 2 (página a seguir), mostramos a origem do nome de cada dia da semana em função do astro que é homenageado.

Percebe-se, assim, que a medição da passagem do tempo esteve e está relacionada com a ocorrência de fenômenos que se repetem de forma cíclica e regular.

Mas o quê a Física e a Astronomia têm a ver com isso? São elas que nos respondem porque ocorrem os dias e as noites, porque ocorrem as estações, porque ocorrem as fases da Lua. Todos esses são fenômenos cuja origem está associada aos movimentos dos astros e às interações entre eles, particularmente aquelas envolvendo a Terra, o Sol e a Lua. Todos sabemos que esses fenômenos ocorrem, mas até que ponto nós os conhecemos, observamos, é algo bem diferente. Nosso desafio, então, é organizar o nosso ‘tempo’ para poder pensar sobre essas coisas... É com isso que nos divertiremos nesse estudo!

Tabela 2: Os dias da semana em vários idiomas e o astro homenageado.

Astro	Origem	Dias da semana em diferentes idiomas				
		alemão	inglês	espanhol	italiano	português
Sol	Sun's day	Sonntag	Sunday	Domingo	Domenica	domingo
Lua	Moon's day	Montag	Monday	Lunes	Lunedì	segunda-feira
Marte	Tiw's day	Dienstag	Tuesday	Martes	Martedì	terça-feira
Mercúrio	Wonden's day	Mittwoch	Wednesday	Miércoles	Merccoledì	quarta-feira
Júpiter	Thor's day	Donnerstag	Thursday	Jueves	Giovedì	quinta-feira
Vênus	Friga's day	Freitag	Friday	Viernes	Venerdì	sexta-feira
Saturno	Saterne's day	Samstag	Saturday	Sábado	Sabato	sábado

Nessa seção, estudaremos os fenômenos dos dias e das noites, as estações e as fases da lua, e algumas de suas conseqüências mais importantes sobre nossa vida. Compreendê-los envolverá uma compreensão mais ampla da própria Terra, do seu lugar no Universo e seus movimentos na imensidão do espaço cósmico.

3.2 Dias e noites

Vimos que a regularidade de alguns fenômenos astronômicos é que determina a passagem e a organização do tempo. Até chegarmos ao atual calendário, muitos outros foram propostos e utilizados, sempre buscando coincidir rigorosamente a duração de uma unidade para medida de tempo com a duração do fenômeno. A alternância entre dias e noites determina o *dia*. Mas por que ocorrem os dias e as noites? Atualmente, a explicação é simples e difundida. A Terra gira ao redor de um eixo imaginário, o eixo de rotação terrestre, a cada 24 horas, em relação ao Sol. Esse movimento é denominado rotação terrestre, e ocorre no sentido de oeste para leste. É o movimento de rotação da Terra que nos coloca, sucessiva e alternadamente, voltados para o Sol

(dia) ou de costas para ele (noite). No entanto, nós que estamos sobre a própria Terra, temos a impressão de que é o Sol, e também a Lua, ou as estrelas, que estão girando sobre nós. Alternativamente, poderíamos explicar a ocorrência de dias e noites dizendo que é o Sol que se desloca no céu durante um *dia*. É a explicação mais de acordo com nossos sentidos. De fato, a opção entre uma Terra parada ou em movimento foi uma questão que acirrou os ânimos e os debates durante séculos. Veremos, a seguir, algumas evidências físicas da rotação terrestre que foram apontadas ao longo do tempo e sua contribuição para a consolidação de um modelo no qual a Terra se move.

3.3 A rotação terrestre

Os antigos observatórios construídos pelos povos pré-históricos e outros registros históricos indicam que esses povos já possuíam conhecimentos sobre os movimentos dos astros. De certa forma, o movimento dos astros no céu era o relógio a partir do qual marcavam a passagem do tempo. No entanto, não havia, ainda, a discussão sobre quem de fato se movimentava. Não havia também uma preocupação em entender porque os corpos celestes se movimentavam. Essas questões não tinham relevância. Bastava entender como os ciclos de tempo se repetiam para organizar as atividades que garantiriam a sobrevivência (migrações, plantio, colheita). Portanto, o conhecimento astronômico, até a Antiguidade, tinha uma finalidade de caráter prático. A exemplo do que ocorria para a forma da Terra, as explicações para os fenômenos eram de origem mitológica, geralmente associadas a ações dos deuses adorados pelos povos. Novamente, é na Grécia Antiga que surgem as primeiras hipóteses para os movimentos dos astros cuja explicação incluísse argumentos físicos. Isso não significa, porém, que argumentos e crenças filosóficas foram abandonados.

Predominantemente, os povos antigos, entre eles os gregos, acreditavam que a Terra estava parada e ocupava o centro do Universo. Para eles, então, a explicação natural para os dias e as noites era a revolução da esfera celeste em torno da Terra. O modelo aristotélico, de que o movimento dos astros é natural e, portanto, não precisa de uma causa, ou de um agente, esteve apoiado nas premissas da perfeição do universo celeste e da Terra parada no centro do mundo. Como sabemos, foi um modelo muito influente. Predominou por mais de dois milênios. A teoria geocêntrica de Ptolomeu compartilhava das premissas aristotélicas. A Terra estática e no centro

do mundo foi um dos dogmas mais importantes da Igreja católica. Ainda, segundo a física aristotélica, na qual um movimento pressupõe necessariamente uma força, a Terra deveria estar em repouso, pois não haveria força com intensidade capaz de movimentar um corpo com as dimensões de nosso planeta.

Nesse contexto hegemônico muito favorável às idéias aristotélicas, no entanto, alguns modelos atribuindo algum tipo de movimento à Terra foram apresentados, mas produziram pouco impacto prático e não abalaram as bases teóricas do paradigma geocêntrico e geoestático. Nessas exceções, temos os modelos de Aristarco de Samos (310-230 a.C.), e de Heráclides do Ponto (388-310 a.C.). Ambos atribuíram à Terra um movimento de rotação sobre seu próprio eixo. Heráclides do Ponto usou esse argumento para explicar o movimento aparente das estrelas. Segundo Rival, (1997, p.78), “a idéia de Heráclides foi amplamente aceita pelos astrônomos, pois explicava de maneira elegante o movimento diurno das estrelas, eliminando a hipótese, difícil de aceitar para os sentidos, de uma rotação acelerada da esfera celeste em torno do globo terrestre”. Aristarco também supôs a Terra em revolução em torno do Sol, mas essa hipótese, sem evidências favoráveis, não foi considerada. Já Heráclides supôs um modelo misto, no qual Mercúrio e Vênus orbitavam o Sol, mas o próprio Sol, a Lua e os demais planetas orbitavam a Terra, essa na posição central do sistema.

Entre a hipótese teórica de que a Terra gira sobre si mesma e esse fato ser comprovado, no entanto, transcorreram-se praticamente 2000 anos. A hipótese da rotação foi lançada, como vimos, no séc. IV a.C. Sua aceitação foi gradativa. Mas a primeira prova concreta ocorreu em 1851, quando o movimento da rotação da Terra já estava difundido e aceito também no domínio popular. Essa prova foi a experiência do pêndulo de Foucault. Cabe lembrar que, cronologicamente, no séc. XIX já faziam parte dos conhecimentos aceitos no campo da física e da astronomia a teoria heliocêntrica de Copérnico, as leis de Newton para o movimento, e a Lei da Gravitação Universal, ou seja, já havia argumentos físicos sólidos a favor do movimento da Terra.

3.3.1 Efeitos da rotação terrestre

3.3.1.1 Fusos horários

O fato de a Terra girar sobre si mesma traz algumas conseqüências. Uma delas é que pontos situados em regiões diferentes do planeta estarão numa posição relativa diferente com respeito à direção do sol. Quando é meio dia no nosso meridiano ($\approx 45^\circ\text{W}$), estamos exatamente de frente para o Sol. O meridiano oposto ao nosso ($\approx 135^\circ\text{E}$, cortando o oeste da Austrália), que está a 180° de distância, está de costas para o Sol, e lá é exatamente meia-noite quando é meio-dia para nós. Em unidades de tempo, isso significa 12 horas de diferença entre a hora local no Brasil e a hora local na Austrália. Assim, vemos que o movimento de rotação da Terra acarreta que as horas sejam diferentes em diferentes lugares no planeta. Percebemos cotidianamente essas diferenças de horário entre regiões com fusos horários diferentes por ocasião da transmissão de eventos que ocorrem ao vivo, como jogos de futebol, corridas de fórmula 1, etc. Podemos estimar a diferença de longitude entre o lugar aonde estamos assistindo a transmissão e o local em que o evento está acontecendo através da diferença em horas do programa. A adoção de horário de verão por alguns países e o fato do sistema de fusos horários adotar linhas que nem sempre coincidem com os meridianos, porém, são fatores que interferem na mensuração direta de longitudes através das horas locais ou o contrário. O Grande Prêmio de Fórmula 1 adota, como horário oficial das provas¹⁶, o horário do meio-dia local. Quando ocorrem corridas na Europa, nesse horário padrão, nós as assistimos às 9 h da manhã, ao vivo, porque a diferença de fuso com a Inglaterra (e.g.) é de 3 horas¹⁷. Para assistir uma corrida que acontece no Japão, às 14 horas, os simpatizantes brasileiros têm que acordar de madrugada para assisti-las às 2 h da manhã, pois a diferença de fuso, nesse caso, é de 12 horas.

Para organizar melhor a marcação de horários em toda a Terra foi adotado o sistema de fusos horários. A figura 9 mostra a localização das linhas de fuso na Terra, e você pode compará-las com as linhas meridianas. Sabemos que a Terra faz uma rotação completa (360°) em 24 horas. Disso resulta que a cada hora a Terra gira 15° ($360 \div 24$) no sentido de oeste para leste. Por isso, adotou-se um sistema de 24 fusos horários, com o fuso de referência estabelecido em Greenwich. Cada fuso horário cobre espacialmente 15° terrestres em longitude, e temporalmente equivale ao intervalo de uma hora.

¹⁶ Ocasionalmente, o horário das provas é alterado do meio-dia para as 14 h, conforme acordos com as redes de televisão.

¹⁷ Quando não há horário de verão aqui ou lá.



Figura 9: O mapa de fusos horários; as linhas vermelhas mostram onde os horários oficiais locais mudam.

Também em viagens que cobrem distâncias maiores percebe-se o efeito da rotação terrestre. O viajante, ao chegar ao local de destino, tem que ajustar seu relógio – e seu ritmo biológico – para o horário local. Enquanto alguém viajou por 12 horas, a Terra também girou meia volta nesse tempo. Suponha que o viajante tenha ido do Brasil à Alemanha, para assistir a Copa do Mundo. A diferença de horário entre esses dois países é de 4 horas¹⁸. Se o torcedor partir do Brasil às 18 horas de uma quarta-feira, em que horário e dia da semana estará chegando à Alemanha? Se a Terra não girasse, chegaria lá às 6 h da manhã de quinta-feira, pois a viagem durou 12 horas. Mas por causa da rotação da Terra, o horário de chegada deve ser ajustado à hora local, acrescentando-se a diferença em horas. Assim, nosso torcedor chega na Alemanha às 10 horas da manhã (6 h + 4h de fuso = 10h), já que a viagem é no sentido oeste-leste. No texto complementar nº 4 (Apêndice 3), apresentamos os efeitos concretos da rotação terrestre sobre viagens longas, a partir de uma das viagens do navegador brasileiro Amyr Klink.

3.3.1.2 Variações na intensidade do campo gravitacional terrestre

¹⁸ Ignorando-se a adoção de horário de verão na Alemanha na época da Copa 2006.

Já vimos, no item 2.2.3.2 do capítulo anterior, que o leve abaulamento equatorial da Terra e o fato de ela estar em rotação fazem com que a intensidade do campo gravitacional terrestre seja levemente menos intenso no equador do que nos pólos.

3.3.1.3 O Pêndulo de Foucault

Na Antiguidade, a revolução diária da esfera celeste sobre a Terra foi apresentada como um argumento a favor da mobilidade de nosso planeta. No entanto, esse fenômeno também pode ser explicado a partir de um referencial geocêntrico, supondo que é a esfera das estrelas que está girando em torno da Terra parada. Assim, para muitos, esse argumento não era conclusivo. Apenas em 1851 é que o físico francês Jean León Foucault desenvolveu uma experiência pública com um pêndulo cujo resultado é considerado como uma prova concreta da rotação terrestre. Inclusive, é tida como uma das dez experiências mais importantes da história da ciência.

Um pêndulo é um objeto que está suspenso por um fio e que, ao ser afastado de sua posição de equilíbrio e então solto, entra em oscilação. A única força atuando sobre o pêndulo é o seu peso, que não altera o plano de oscilação, de maneira que esse plano de oscilação permanece invariável em um referencial inercial. Isto é, um pêndulo que é posto a oscilar na direção norte-sul permanecerá oscilando nessa direção até seu movimento ser amortecido pela resistência do ar. A demonstração de Foucault consiste simplesmente em um longo pêndulo que oscila para frente e para trás muitas vezes, com um grande período. Ele realizou publicamente essa demonstração no Pantheon de Paris. Suspendeu uma esfera de 30 kg em um fio de 67 m de comprimento. Uma agulha fixada em baixo da esfera marcava a direção de oscilação em um anel de areia colocado em uma mesa abaixo do pêndulo. O resultado é que as marcas da areia não ficaram sobre linhas fixas, mas se movimentaram de maneira circular sobre a superfície, mostrando que o plano de oscilação do pêndulo estava mudando em relação à Terra e, conseqüentemente, que a Terra estava girando. Se a Terra não girasse, os ‘rastros’ da oscilação da esfera, marcados sobre a areia, permaneceriam sobre o mesmo lugar. Portanto, a experiência de Foucault constitui uma prova impressionante para a rotação terrestre porque pode ser – e foi – realizada em um ambiente fechado, sem a necessidade de se olhar para o céu. No endereço sugerido, há uma animação interessante que simula a oscilação pendular em diferentes latitudes: <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html>

Atividade 3: Realizar as atividades sugeridas no Guia de Atividades nº 4 (Apêndice 7).

3.4 Nossos dias estão encurtando?

No início desse capítulo, discutíamos a questão de que o tempo está passando mais rápido. Vimos, por outro lado, que o que define a duração de um *dia* é o movimento de rotação da Terra. Assim, dizer que os *dias* estão mais curtos significa dizer que a Terra está girando mais rápido, está realizando uma volta completa em menos tempo e, por isso, aumentando sua velocidade angular ω . Mas será que fisicamente é isso que está acontecendo com a Terra? NÃO, NÃO e NÃO!

Se do ponto de vista psicológico o *dia* está passando mais rápido, do ponto de vista físico, esse mesmo *dia* está fluindo mais devagar. Isso significa dizer que a duração do *dia* está lentamente aumentando, devido ao fato de que a Terra está gradativamente diminuindo sua velocidade de rotação. A Terra está girando mais devagar por causa dos efeitos de maré provocados pela Lua e pelo Sol. Esses efeitos de maré deformam a crosta terrestre e dissipam energia, e isso está freando a rotação da Terra. Nesse caso, temos uma nova grandeza física, o momentum angular, l , que não está se conservando, nem para a Terra, nem para a Lua, separadamente. O momentum angular é a grandeza rotacional análoga ao momentum linear (quantidade de movimento linear, p , definida anteriormente), cujo módulo é dado por $l = r.p$. No caso do sistema Terra-Lua, o momentum angular total l se conserva. Cálculos realizados indicam que os dias estão lentamente aumentando, na proporção de 0,002 segundos por século. Em outras palavras, para a duração do *dia* aumentar em 1 segundo, serão necessários 500 séculos ou 50 mil anos ($0,002 \times 500 = 1$ s).

3.5 Estações do ano

As alterações climáticas que ocorrem à medida que transcorre o ano são marcantes para nós que vivemos em regiões temperadas do globo terrestre. Nossas atividades de rotina, nossa disposição e estado de espírito, nossa maneira de vestir, nossos hábitos alimentares, geralmente são alterados com a troca de estação. Efeitos como mudanças de temperatura e o tamanho do ‘dia’ são os principais fatores que nos sinalizam uma nova estação. No inverno, convivemos com temperaturas baixas, algumas vezes próximas de 0°C e dias curtos. Já no verão, os dias são mais

longos e a temperatura varia de 30° a 40°C. Quanto maior a latitude de um lugar, maior será a variação da duração nos dias e nas noites entre o inverno e o verão. Na região equatorial, a duração dos dias e das noites praticamente não se altera ao longo do ano, assim como as temperaturas. Quem já não pensou em viajar para o Nordeste brasileiro em junho ou julho, para fugir um pouco do inverno gaúcho? O fato de essas alterações serem mais marcantes nas altas latitudes do globo terrestre evidencia que a curvatura da Terra é um fator importante para explicar tais mudanças.

Nosso desafio, nesse curso, é explicar porque ocorrem as estações e se ocorrem com a mesma intensidade em todas as regiões. O modelo mental mais comum para explicar as estações é aquele no qual a variação da distância entre a Terra e o Sol durante o ano é que justifica a ocorrência das mesmas. É o chamado modelo da distância¹⁹. Nesse modelo teórico, nem sempre fica claro ‘quem’ está se movimentando em torno de quem, embora esteja implícito o fato de que a distância entre a Terra e o Sol mude ao longo de um ano.

Esse modelo não leva em consideração que as estações são opostas para os dois hemisférios terrestres. Quando é verão no hemisfério norte, é inverno no sul e quando é inverno no hemisfério norte, nós do hemisfério sul estamos no verão. Se a distância Terra-Sol fosse o fator a determinar as estações, haveria uma única estação para toda a Terra. Não é esse o caso. Portanto, esse modelo é errado e aponta a necessidade de incorporar, aos nossos conhecimentos, novos aspectos relacionados à Terra e seus movimentos para explicar corretamente as estações.

3.6 O movimento orbital da Terra em torno do Sol

Kepler constatou que a órbita da Terra e dos demais planetas não é um círculo, mas uma elipse. A principal característica de uma elipse é que a distância do centro até pontos periféricos não é sempre a mesma. No contexto do movimento planetário, significa que há posições orbitais em que os planetas estão mais próximos do Sol, e pontos em que estão mais afastados. Kepler chegou a essa constatação enquanto tentava ajustar dados experimentais ao modelo copernicano. Esse é o conteúdo da **1ª lei de Kepler**, a Lei das órbitas, geralmente enunciada na seguinte forma: “*As órbitas dos planetas em torno do Sol são elipses, com o sol ocupando um dos focos*”.

¹⁹ Expressão corrente na literatura para referir-se ao modelo mental no qual o maior ou menor afastamento da Terra em relação ao Sol é que explica as estações.

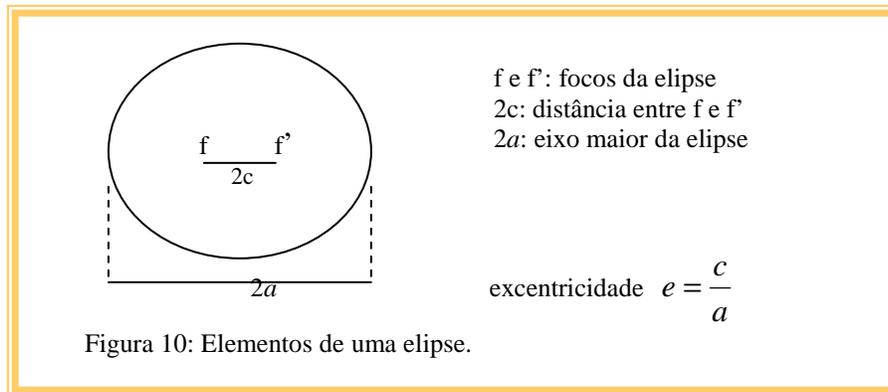
A seguir, veremos o movimento de translação da Terra em mais detalhes.

3.6.1 Principais características do movimento orbital da Terra

3.6.1.1 Forma da órbita

Dizer que as órbitas planetárias são elípticas significa dizer que a distância do planeta ao Sol varia à medida que o planeta percorre a órbita. No entanto, essa variação é muito pequena, de maneira que é muito difícil diferenciá-las de círculos. Na escala de uma folha de papel, a órbita da Terra é mais fielmente representada por um círculo do que por uma elipse. Mas para os cálculos das posições dos planetas em diferentes épocas é importante levar em conta o fato da elipticidade.

A figura abaixo (figura 10) representa os elementos da elipse. A excentricidade da órbita terrestre é $e = 0,016$. Quanto mais próxima de zero for a excentricidade e de uma elipse, mais essa se aproxima de um círculo, que nada mais é que uma elipse de $e = 0$.



Durante uma volta completa em torno do Sol, cada planeta passará por uma posição orbital na qual estará com o maior afastamento em relação à nossa estrela, e, meio período orbital depois, passará por uma posição em que estará com a máxima aproximação. Tais posições são denominadas afélio e periélio.

Para o caso da órbita da Terra, o raio orbital médio é chamado UNIDADE ASTRONÔMICA, que vale $1 \text{ UA} = 149.597.870 \text{ km}$, ou $1 \text{ UA} \approx 150 \text{ milhões km}$. A aproximação máxima entre a Terra e o Sol é de $0,98 \text{ UA}$ (≈ 147 milhões de quilômetros). A Terra está no periélio. O maior afastamento entre a Terra e o Sol é de $1,017 \text{ UA}$ (≈ 152 milhões de

quilômetros). A Terra está no afélio. A diferença entre os raios orbitais é de 5.000.000 km, que representa uma variação em distância de apenas 3% entre a posição de menor para a de maior afastamento. A Tabela 3 expressa em quais datas a Terra estará no afélio (maior afastamento em relação ao Sol) e em quais datas estará no periélio, para os anos de 2005 a 2008.

Tabela 3: Posições de afélio e periélio para a Terra no intervalo 2005-2008.

	Posição Orbital	2005	2006	2007	2008
TERRA	AFÉLIO (1,017 UA) $v_t^{20} = 29,2 \text{ km/s}$	05 de julho	03 de julho	07 de julho	04 de julho
	PERIÉLIO (0,98 UA) $v_t = 30,2 \text{ km/s}$	02 de janeiro	04 de janeiro	03 de janeiro	03 de janeiro

3.6.1.2 Velocidade orbital

O fato do raio orbital de um planeta ser variável traz outra consequência importante. A velocidade orbital de um planeta em torno do Sol não é constante ao longo de sua trajetória. Quando o planeta está se aproximando do Sol, sua velocidade orbital aumenta. A velocidade orbital é máxima quando o planeta está no periélio, ou seja, quando o raio orbital é mínimo. Quando o planeta está se afastando do Sol sua velocidade orbital diminui. A velocidade orbital é mínima quando o raio orbital é máximo. Isso é uma decorrência do princípio de conservação do momentum angular entre cada planeta e o Sol. O momentum angular é dado por $l = r.p$ e, portanto, $l = r(m.v)$. Portanto, temos, para o caso dos planetas, que quando o raio orbital r aumenta, a velocidade orbital v diminui, de modo a conservar o momentum angular.

²⁰ v_t é a velocidade de translação da Terra nos pontos de afélio e periélio.

Kepler constatou essa proporcionalidade entre raio e velocidade orbitais. Sua genialidade levou-o a relacionar essa propriedade das órbitas dos planetas a uma outra consequência surpreendente para a época: um planeta percorre áreas iguais em tempos iguais, conclusão que constitui o conteúdo de sua 2ª lei. A **2ª Lei de Kepler**, ou Lei das Áreas, pode ser assim enunciada: “*O raio vetor que une cada planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais.*” A animação no endereço a seguir demonstra essa lei. <http://www.walter-fendt.de/ph14e/keplerlaw2.htm>.

A 2ª lei de Kepler tem uma consequência importante sobre as estações, que é a duração desigual das estações do ano, em número de dias. Quando a Terra está se afastando do Sol, indo para o afélio, sua velocidade orbital torna-se gradativamente menor. Por isso, a estação do ano equivalente à época em que a Terra está mais distante do Sol dura mais. Por outro lado, quando a Terra está mais próxima do Sol, a estação correspondente em cada hemisfério dura menos porque a Terra está mais veloz. A Tabela 4, na página seguinte, ilustra essa variação na duração das estações (em *dias*) em relação às posições orbitais da Terra. Essa tabela também evidencia que a ocorrência das estações não depende da distância da Terra ao Sol. Veja que quando a Terra está no afélio – mais afastada do Sol, é inverno no hemisfério Sul mas é verão no hemisfério Norte.

3.6.1.3 Período orbital

O período T de um movimento circular é o tempo necessário para que um corpo efetue uma volta completa. Assim, o período T de revolução da Terra em torno do Sol é de um ano ($\cong 365,25$ dias). Geralmente, o período dos demais planetas é apresentado em função de anos ou de dias terrestres. O tempo gasto pela Terra para efetuar uma translação completa muda ligeiramente conforme o referencial adotado. O ano sideral é o tempo gasto pela Terra para efetuar uma volta completa em torno do Sol em relação ao referencial das estrelas fixas. Dura 365,2564 dias solares²¹, ou 365 dias, 5 horas, 9 minutos e 10 segundos. Já o ano tropical é o tempo gasto pela Terra para efetuar uma revolução completa em torno do Sol com relação ao ponto Vernal, que é um dos pontos de equinócio, nos quais a eclíptica e o equador celeste se

²¹ Dia Solar é o tempo gasto pela Terra para efetuar uma rotação completa com respeito ao Sol, o que dá um período de 24 horas. Calendários são organizados com base no dia solar e no ano tropical.

interceptam durante a translação. O ano tropical, que marca a duração de um ciclo de estações, dura 365,2422 dias solares, ou 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46 segundos. O ano tropical é levemente mais curto que o ano sideral por causa do movimento de precessão da Terra, já que o ponto Vernal regride de posição em relação às constelações zodiacais devido à precessão. Discutimos em mais detalhes esse movimento no texto complementar do Apêndice 3.

Tabela 4: A duração das estações nos hemisférios terrestres e o movimento da Terra

Posição Orbital		Duração das estações em 2006			
AFÉLIO	03 de julho	Equinócio de março – dia 20	Outono HS Primavera HN	Solstício de junho – dia 21	Inverno HS Verão HN
			92,76 dias		93,65 dias
PERIÉLIO	04 de janeiro	Equinócio de setembro dia 23	Primavera HS Outono HN	Solstício de dezembro dia 21	Verão HS Inverno HN
			89,84 dias		88,99 dias

O raio orbital médio de um planeta pode ser definido conhecendo-se o seu período orbital. Isso é possível porque a razão entre o cubo do raio médio (R^3) e o quadrado do período (T^2) é constante para um dado sistema. Essa é outra descoberta importante de Kepler, constituindo sua 3ª lei, assim enunciada:

3ª Lei de Kepler: “*Os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol são proporcionais aos cubos dos raios de suas órbitas*”.

Matematicamente, tem-se: $T^2 = kR^3$, pois $T^2 \propto R^3$. No caso do Sistema Solar, para os raios orbitais em unidades astronômicas (UA), e os períodos em anos terrestres, a constante K (T^2/R^3) é igual a 1.

3.6.1.4 Plano orbital

No referencial terrestre, o que nós ‘vemos’ mudar durante um ciclo completo das estações é a posição do Sol. Portanto, é muito comum se ouvir falar e estudar o movimento anual do Sol. Temos que ter presente, porém, que quem está em movimento em torno do Sol é a Terra, e não o contrário. O movimento de revolução da Terra e dos outros planetas em torno do Sol ocorre porque há interação gravitacional entre o Sol e os demais astros. A *força gravitacional* do Sol é a resultante centrípeta necessária para manter os planetas em trajetórias elípticas, assim como a *tensão* em um barbante ao qual está amarrada uma esfera girando é a resultante que faz com que essa fique em rotação.

Podemos considerar a Terra como nosso referencial fixo - isso tem vantagens práticas - e analisar o Sol movimentando-se relativamente a Terra. Nesse caso, a eclíptica é definida como o plano no qual o Sol desenvolve sua trajetória no céu. Está inclinada em $23,5^\circ$ em relação ao equador celeste, que é o plano definido pelo prolongamento do equador terrestre, conforme figura 11.a.

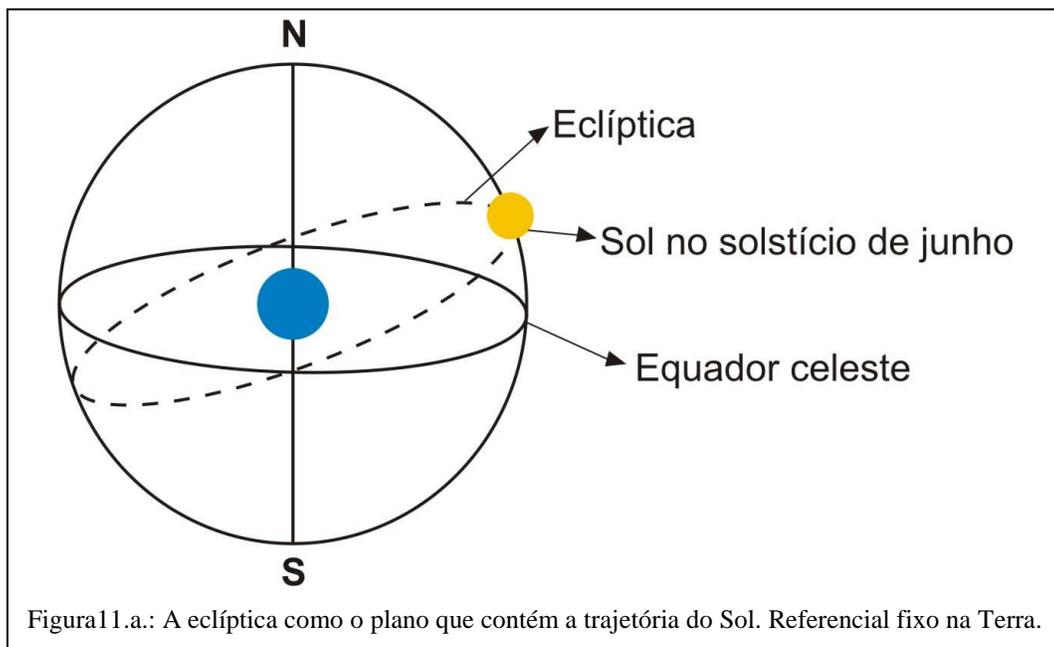


Figura 11.a.: A eclíptica como o plano que contém a trajetória do Sol. Referencial fixo na Terra.

De forma equivalente, podemos considerar um referencial fixo no Sol e definir a eclíptica como o plano que contém a órbita terrestre. Assim, temos que o plano da órbita terrestre está inclinado de $23,5^\circ$ em relação ao plano do equador terrestre (ou celeste). A figura 11.b apresenta a eclíptica como o plano que contém a órbita da Terra. Portanto, o eixo de rotação terrestre está inclinado com respeito ao plano da eclíptica em $66,5^\circ$ e em $23,5^\circ$ com respeito ao eixo desse plano orbital.

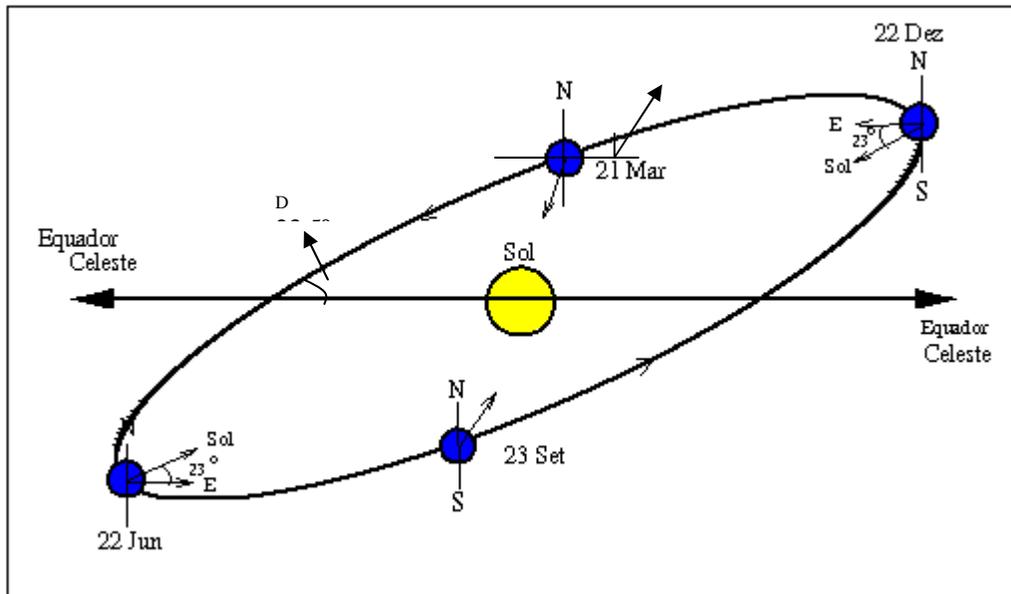


Figura 11.b: A eclíptica como o plano que contém a trajetória da Terra com o Sol no centro (efeito de perspectiva). Referencial fixo no Sol.

3.6.2. Dias de solstício e equinócio

Os planos do equador celeste (ou terrestre) e o da eclíptica estão inclinados entre si. Isso significa que haverá pontos espaciais e instantes de tempo durante a translação da Terra em que os dois planos vão se interceptar. Os pontos nos quais a eclíptica e o equador se cruzam são os chamados pontos de equinócio. No referencial terrestre, um dos pontos de equinócio ocorre quando o Sol passa do hemisfério sul para o norte, o que ocorre em março. Esse é o chamado ponto Vernal, ou ponto γ (gama). Essa passagem demarca o início da primavera no Hemisfério Norte e do outono no Hemisfério Sul. O outro ponto equinocial é diametralmente oposto ao ponto γ ; é o ponto Ω (ômega), quando o Sol cruza o equador celeste de norte para sul. Isso acontece em

setembro, quando começa o outono no Hemisfério Norte e a primavera no Hemisfério Sul. O termo equinócio é uma referência ao fato de que os dias e as noites têm igual duração nessas datas, em qualquer ponto do globo terrestre. (*equi* = igual; *nócio* = noite), já que nessas ocasiões o Sol incide perpendicularmente no equador terrestre.

Os dias de equinócio são os dias em que o Sol atinge pontos de sua órbita nas quais intercepta o equador. No equinócio de março, o Sol está cruzando o equador celeste de sul para norte. É o início do outono no hemisfério sul e da primavera no hemisfério norte. No equinócio de setembro, o Sol está atravessando o equador celeste de norte para sul. Começa a primavera do hemisfério sul e o outono no hemisfério norte.

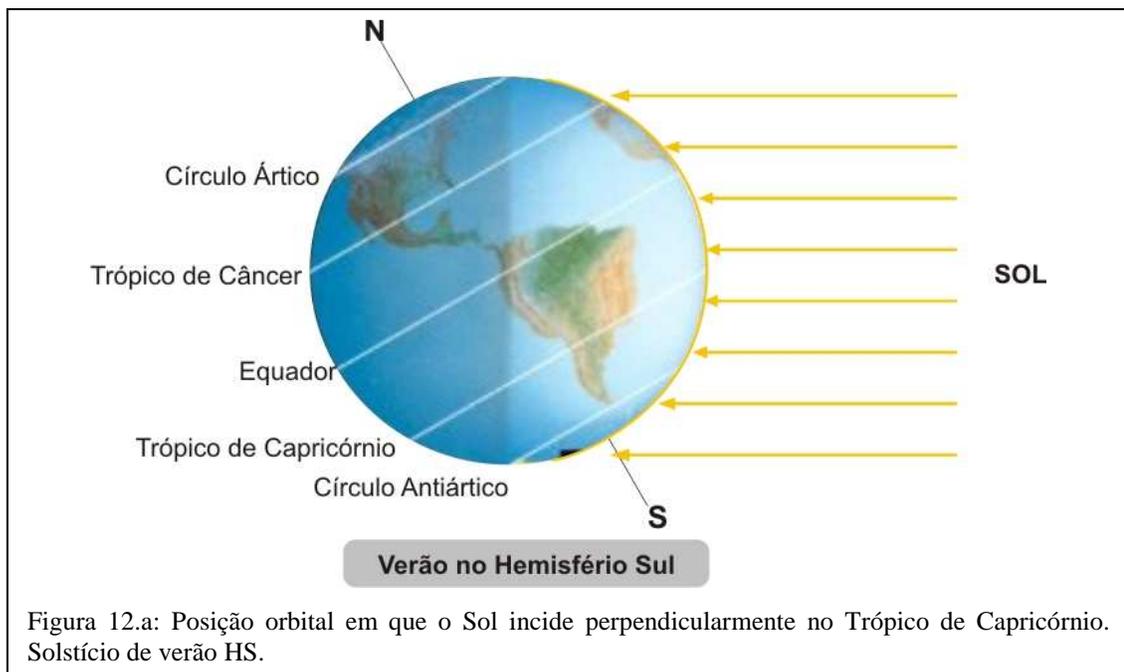
Os dias de solstício ocorrem quando o Sol atinge os pontos de sua órbita que estão em máximo afastamento do equador. O solstício de dezembro ocorre quando o Sol está em seu máximo afastamento para sul. Esse dia caracteriza o início do verão para o Hemisfério Sul e o início do inverno para o Hemisfério Norte. Já o solstício de junho acontece quando o Sol está com máximo afastamento para o Norte. É o início do inverno para a metade sul da Terra e do verão para a metade norte. A Tabela 5, na página seguinte, reúne as principais características dos dias de solstício e equinócio.

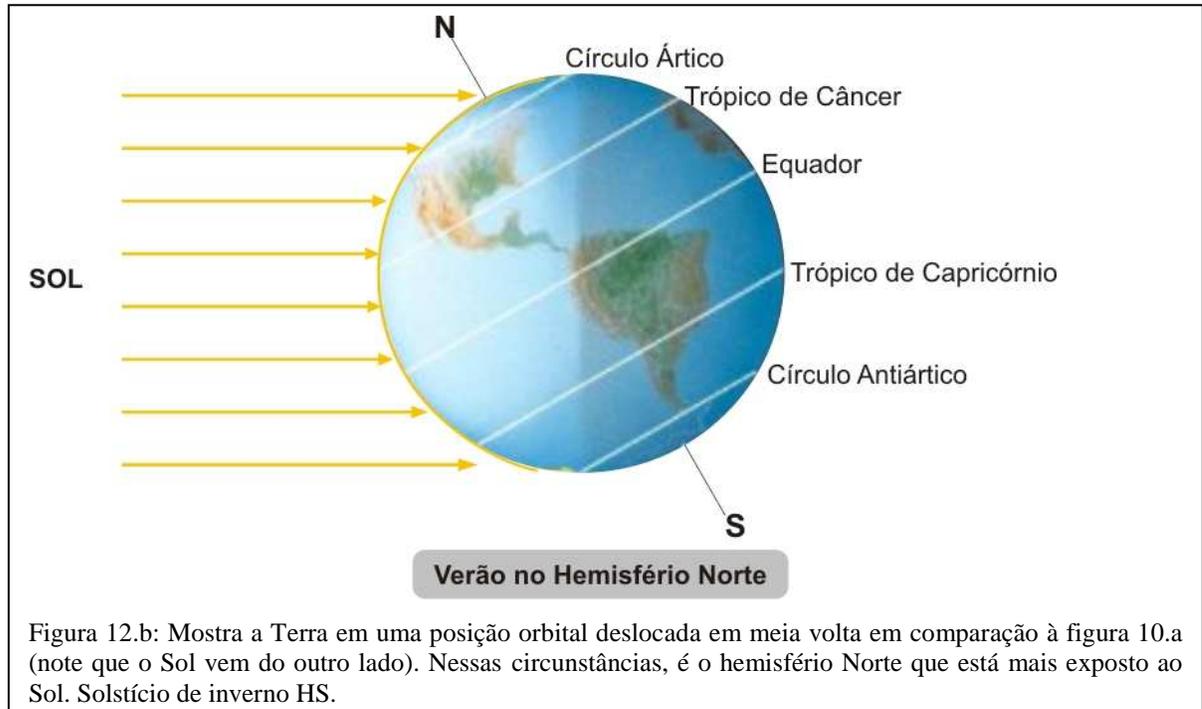
Tabela 5: Dias de solstício e equinócio e fatores associados.

Dias singulares	Afastamento do Sol a partir do equador	Duração dos dias e das noites		Estação do ano		Altura máxima do sol em diferentes latitudes	
		Hemisfério Norte	Hemisfério Sul	Hemisfério Norte	Hemisfério Sul		
Equinócio de março ≈ 20	0° O Sol está cruzando o Equador celeste de sul para norte.	12 h cada	12 h cada	primavera	outono	0°	Pólo Sul
						66,5°	Trópico de Capricórnio
						90°	Equador
						66,5°	Trópico de Câncer
						0°	Pólo Norte
Solstício de junho ≈ 21	23,5° N O Sol está em seu máximo afastamento para norte.	Dia mais longo No pólo Norte, sol da meia-noite	Dia mais curto 24 h de noite no Pólo Sul.	verão	inverno	-23,5°	Pólo Sul
						43°	Trópico de Capricórnio
						66,5°	Equador
						90°	Trópico de Câncer
						23,5°	Pólo Norte
Equinócio de setembro ≈ 23	0° O sol está cruzando o Equador celeste de norte para sul.	12 h cada	12 h cada	outono	primavera	0°	Pólo Sul
						66,5°	Trópico de Capricórnio
						90°	Equador
						66,5°	Trópico de Câncer
						0°	Pólo Norte
Solstício de dezembro ≈ 21	23,5° S O Sol está em seu máximo afastamento para sul.	Dia mais curto 24 h de noite no Pólo Norte.	Dia mais longo No pólo Sul, sol da meia-noite	inverno	verão	23,5°	Pólo Sul
						90°	Trópico de Capricórnio
						66,5°	Equador
						43°	Trópico de Câncer
						-23,5°	Pólo Norte

3.7 As estações e a translação da Terra

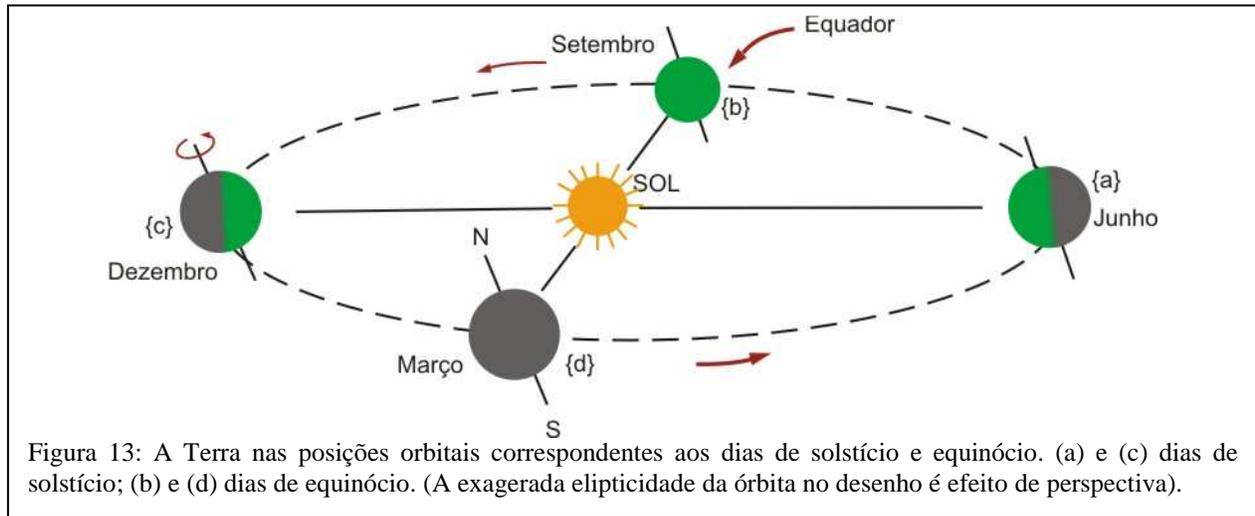
Dentre os fatores já apresentados acerca da Terra como corpo cósmico em movimento no espaço sideral, a inclinação do eixo de rotação terrestre em relação ao plano orbital é o principal fator que explica a ocorrência das estações do ano na Terra. A direção do eixo de rotação terrestre permanece fixa no espaço. Com o decorrer da translação da Terra, os raios solares atingem a superfície terrestre com diferentes inclinações em diferentes dias do ano. Devido à inclinação da Terra, um dado hemisfério está mais exposto à incidência da energia solar. A incidência dos raios solares acontece mais próxima da vertical do lugar e ocorre durante mais tempo, durante um *dia*, caracterizando o verão nesse hemisfério. O hemisfério oposto estará nas condições contrárias. A incidência de energia solar acontece mais inclinada com relação à vertical do lugar e durante pouco tempo (dias curtos). Nesse hemisfério, então, é inverno. A figura 12.a mostra a Terra na posição orbital em que o hemisfério Sul está mais exposto à incidência de energia do Sol, enquanto a figura 12.b mostra a Terra na posição orbital na qual o hemisfério Norte está nessa condição, comprovando a existência de estações contrárias entre os hemisférios.





Enquanto a inclinação do eixo de rotação terrestre explica a ocorrência de estações, o fato dessas apresentarem características diferentes conforme a localização geográfica está relacionado ao conceito da forma da Terra. Enquanto o equador terrestre recebe os raios solares com uma inclinação máxima de $23,5^\circ$ em relação à vertical durante o ano, as regiões dos círculos polares convivem com situações extremas, como ter épocas nas quais o Sol nunca se põe e épocas em que ele nunca nasce. Nas latitudes acima de $23,5^\circ$ N ou S, o Sol nunca atinge a altura máxima de 90° em relação ao horizonte, isto é, nunca fica a pino em cidades como Lajeado ou Porto Alegre.

Os dias de equinócio, por sua vez, são aqueles nos quais a Terra está igualmente iluminada em seus hemisférios. A figura 13 mostra a Terra, durante sua translação em torno do Sol, nas posições orbitais de solstício e equinócio.



3.8 Movimento aparente do Sol e das estrelas

Todos temos a percepção cotidiana, mesmo que não sejamos bons observadores, de que o Sol se move no céu durante o dia. Nasce de um lado do horizonte e se põe no lado oposto. Esse é o movimento diário do Sol. Além disso, se olharmos para as estrelas, à noite, notaremos que elas também se movimentam. Com um pouco de observação, notaremos que esses movimentos são de leste para oeste. Se persistirmos em nossas observações, ao longo de um ano, veremos que as estrelas visíveis mudam de uma estação para outra. Com o passar dos dias, muda a constelação que está visível no horizonte quando o Sol se põe. Também o Sol cruza o céu em pontos diferentes durante um ano, apresentando um movimento anual, além do movimento diário. O Sol se move 1° por dia para leste, refletindo a translação da Terra em torno do Sol. Nosso objetivo é saber porque percebemos essas variações no movimento dos astros.

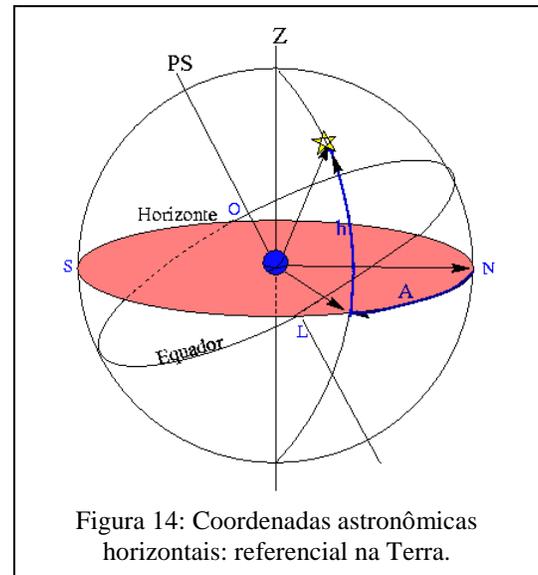
3.8.1 Sistema de coordenadas horizontais

Em Astronomia, é útil e necessário adotar um sistema de referência a partir do qual são analisados os movimentos e as posições dos astros. Há vários sistemas com essa finalidade, mas apresentaremos apenas um, pelo seu caráter prático e apropriado para iniciantes.

O sistema de coordenadas horizontais é fixo na Terra. Seus planos fundamentais são o horizonte e o Meridiano do Lugar (definido como o plano na direção norte-sul). Suas coordenadas são o azimute **A** e a altura **h**. Esse sistema foi amplamente utilizado na determinação de latitudes, como já vimos, já que a coordenada da altura de um astro varia com a localização geográfica. A figura 14 representa essas coordenadas e suas origens.

3.8.1.1. Altura **h**

A altura de um astro é o ângulo contado verticalmente, a partir do horizonte até o ponto onde está o astro. Varia de 0° a 90° . Nesse sistema, o zênite é o ponto acima do horizonte com altura de 90° . Isto é, é o ponto no qual um astro fica a pino para um observador. O ponto diametralmente oposto ao zênite (portanto, não visível para o observador) é o Nadir.



3.8.1.2. Azimute **A**

O azimute é o ângulo medido sobre o horizonte, a partir do ponto cardinal Norte até o ponto onde cai a vertical do astro. Por convenção, o azimute é medido em sentido horário (N-L-S-O). Varia de 0° a 360° .

Se observarmos mais atentamente o movimento anual do Sol, fica fácil constatar que o Sol não nasce e se põe sempre nos mesmos pontos do horizonte. Aliás, rigorosamente falando, o Sol só nasce a leste e se põe a oeste duas vezes num ano. Você lembra quando?

O link sugerido a seguir mostra os diferentes pontos às margens do Rio Guaíba, em Porto Alegre, nos quais o sol tem seu ocaso durante um ciclo completo das estações. <http://astro.if.ufrgs.br/sol/sol.htm>. À medida que variam os pontos de nascer e ocaso do Sol durante o ano, varia também a altura máxima que ele atinge a partir do horizonte. O arco diurno do Sol é menor no inverno e é maior no verão.

3.9 As estações em diferentes épocas e hemisférios

3.9.1 De dezembro a março

No *solstício de dezembro* o sol atinge a superfície perpendicularmente no Trópico de Capricórnio (23,5°S). A energia solar fica mais concentrada nessa região, provocando aumento de temperatura. Já nas demais regiões, principalmente nas altas latitudes do hemisfério Norte, os raios solares atingem a superfície com maior inclinação em relação ao zênite. A energia solar é espalhada por uma área maior, diminuindo a temperatura. Nos demais dias de verão, com a Terra se deslocando em sua órbita, os raios solares vão atingir perpendicularmente outros pontos de menor latitude no hemisfério sul, e deixam de ter altura máxima no Trópico de Capricórnio.

Características do solstício de dezembro:

- O Sol está com máximo deslocamento para o sul do equador, por isso está mais alto nos céus austrais.
- O Sol nasce e se põe com o maior afastamento para **sul**, em relação aos pontos cardeais leste e oeste.
- O Pólo Sul está sempre iluminado e o Pólo Norte sempre às escuras.
- Dia mais longo do ano no hemisfério Sul e o mais curto no hemisfério norte.

3.9.2 De março a junho

Ao chegar em 22 de março, o sol estará incidindo perpendicularmente no Equador, latitude 0°. Nessa ocasião ocorre o *equinócio de março*. A energia do sol se distribui igualmente nos dois hemisférios, demarcando o início da primavera no hemisfério norte e do outono no hemisfério sul. A partir dessa data, o Sol aumentará sua altura em relação ao horizonte no hemisfério norte, até atingirem perpendicularmente o Trópico de Câncer.

Características do equinócio de março:

- O Sol está cruzando o equador celeste de sul para norte, exatamente sobre o ponto Vernal.
- É um dos dois dias do ano em que o Sol nasce exatamente no ponto cardinal leste e se põe exatamente no ponto cardinal oeste.
- Todas as regiões da Terra são igualmente iluminadas.
- Sol incide perpendicularmente no equador terrestre.

3.9.3 De junho a setembro

No *solstício de junho*, o Sol atinge a Terra com altura máxima no Trópico de Câncer (23,5°N). Há maior concentração de energia solar nessa região, nessa data, elevando as temperaturas. É a vez do hemisfério Sul conviver com as baixas temperaturas e com os dias curtos enquanto os europeus estão em pleno verão.

Características do solstício de junho:

- O Sol está com máximo deslocamento para o norte, ficando mais baixo em relação a nós.
- O Sol nasce e se põe com o maior afastamento para **norte**, em relação aos pontos cardeais leste e oeste.
- O Pólo Sul convive com uma longa noite de praticamente 6 meses (Sol sempre abaixo do horizonte), enquanto o Pólo Norte curte o espetáculo do Sol da meia-noite.
- Dia mais curto do ano no hemisfério sul e o mais longo no hemisfério norte.

3.9.4 De setembro a dezembro

Com o decorrer dos dias, os raios solares perpendiculares à superfície migram para o equador, que novamente em 23 de setembro receberá a energia solar perpendicularmente. Mais uma vez, haverá igual distribuição de energia entre norte e sul. É o *equinócio de setembro*, início da primavera para o sul e do outono para o norte. Serão temperaturas amenas e dias e noites de igual duração para todo o globo.

Características do equinócio de setembro:

- O Sol está cruzando o equador celeste de norte para sul.
- É segundo dia do ano em que o Sol nasce exatamente no Leste e se põe exatamente no oeste.
- Todas as regiões da Terra são igualmente iluminadas.
- Novamente, o Sol incide verticalmente no equador terrestre.

À medida que a Terra se desloca em sua órbita, os raios solares perpendiculares à superfície migram do equador (23 set) novamente para o Trópico de Capricórnio, trazendo mais um verão para os habitantes austrais e um inverno para os nórdicos.

3.10 Mudanças de temperatura

A forma esférica da Terra faz com que a altura do Sol seja diferente em locais de latitudes diferentes, para uma mesma data. Esse fator, associado à inclinação do eixo de rotação, faz com que os raios solares incidentes atinjam a superfície com diferentes inclinações, produzindo efeitos tanto sobre as temperaturas quanto sobre a duração dos dias e noites. A variação na duração dos dias e das noites e as mudanças nas temperaturas médias são os principais fatores que nos sinalizam que a estação está mudando. Observadores mais atentos percebem que esses fatores, por sua vez, estão ligados à trajetória do Sol, que no verão está ‘mais alto’ e no inverno, ‘mais baixo’.

A quantidade de energia solar que chega em diferentes pontos da Terra é a mesma. Porém, as diferentes inclinações com que essa energia atinge o solo fazem variar a distribuição de energia por unidade de área ($\Delta E/\Delta A$). As regiões onde há mais concentração de energia terão temperaturas altas (mais energia por unidade de área). Nas regiões em que há uma maior área a ser atingida pela mesma quantidade de energia ΔE , as temperaturas serão mais baixas (menos energia por unidade de área). Por isso, em regiões de altas latitudes, nas quais os raios solares estão mais inclinados em relação à superfície, as temperaturas serão mais baixas do que nas regiões de latitudes tropicais e equatoriais. A figura 15 (página a seguir) mostra essa distribuição desigual da energia solar sobre a superfície em função da curvatura da Terra e de sua inclinação na eclíptica.

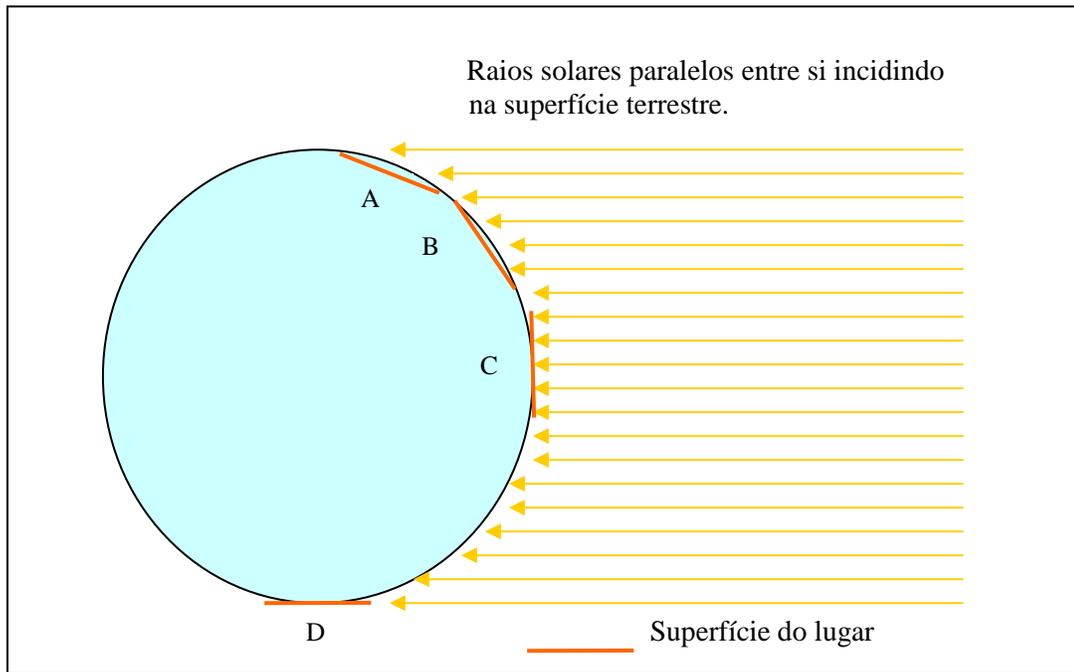


Figura 15: A quantidade de energia solar incidente por unidade de área varia com o ângulo de incidência dos raios solares. Nessa figura, a quantidade de energia solar é representada pelo número de raios que incide nas regiões A, B, C e D. C representa a região equatorial, aonde os raios chegam perpendiculares à superfície e há mais energia (mais raios chegando) por unidade de área. Em A, uma região de alta latitude, os raios chegam rasantes à superfície, é há menos energia (menos raios) incidente por unidade de área.

3.11 Duração diferenciada dos dias e das noites

A duração dos dias e das noites varia com as estações e com a latitude. À medida que a Terra realiza seu movimento de translação, muda a inclinação com que cada hemisfério recebe a luz solar durante o ano. Regiões de altas latitudes têm as variações mais sensíveis na relação entre n° de horas de sol e n° horas de noite.

Na latitude de Lajeado, temos apenas 10 horas de Sol para 14 horas de noite próximo à chegada do inverno e no início dele. No verão, os dias são mais longos, invertendo-se essa relação. A figura 16.a demonstra essa variação na duração do dia conforme a época do ano para a latitude de 29° S.

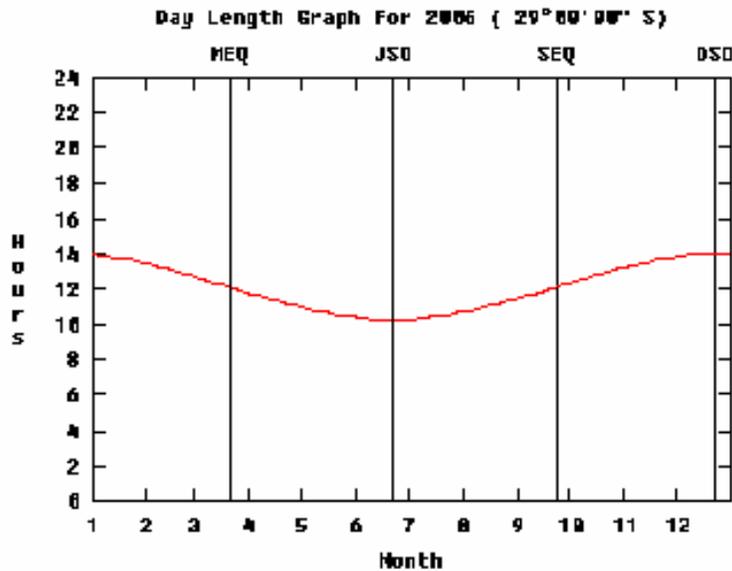


Fig 16.a: Duração do dia (day length) para a latitude de Lajeado (-29°S)

Quem não sonha em passar parte do inverno no Nordeste brasileiro, ficar pegando praia enquanto quem fica aqui está todo agasalhado? Enquanto estação do ano, lá também há inverno, mas o fato dessa região estar em uma posição mais central do globo terrestre faz com que a distribuição da energia recebida durante um ano, do Sol, permaneça praticamente a mesma, mantendo as temperaturas mais altas; também a duração dos dias permanece praticamente inalterada, como demonstrado na figura 16.b. Por último, a figura 16.c mostra que a duração do dia e da noite sofre as maiores variações nas latitudes mais altas. É o caso de Moscou, na Rússia, cuja latitude é 55°N .

Nas três figuras, o eixo vertical representa o número de horas com incidência do Sol e o eixo horizontal representa o número correspondente ao mês (*month*). Tais figuras foram obtidas do software *AstronomyLab*, na opção *Graphs, Day Length*.

Atividade 4: Mostrar e discutir com os alunos os *applets* relacionados às Leis de Kepler. (Ver guia atividades 9).

Atividade 5: Mostrar o *applet* disponível em <http://www.shermanlab.com/science/physics/mechanics/EarthSun.php>, o qual mostra o movimento orbital da Terra e também permite discutir a conservação do momentum angular l .

Atividade 6: A questão nº 14 do Guia de atividades nº 5 (Apêndice 8) sugere a discussão e o aprofundamento a partir da figura 15 dessa seção.

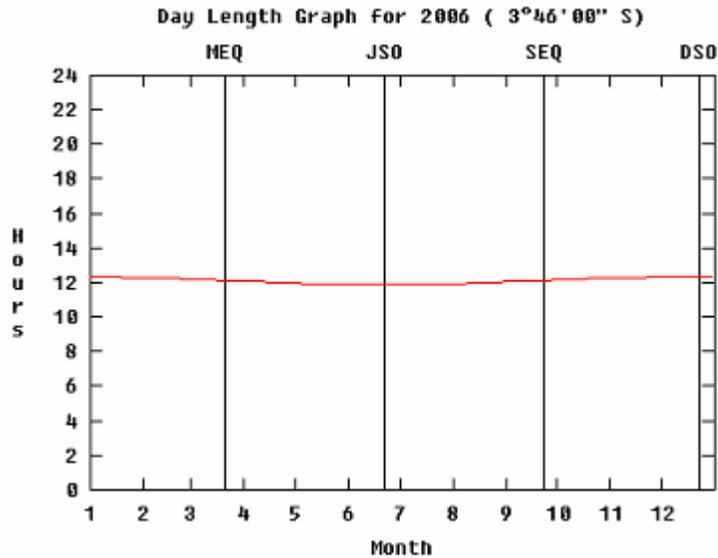


Fig 16.b: Duração do dia (day lenght) para a latitude de Fortaleza - CE (~3°S)

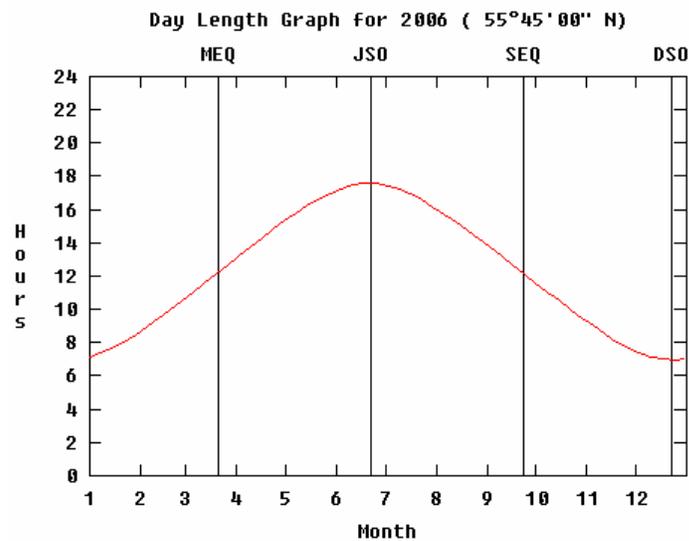


Figura 16.c: Duração do dia (day lenght) para a latitude de Moscou, Rússia (~56°N).

3.12 Terra estática ou em movimento?

3.12.1 Aspectos históricos

Ao longo da História, primeiramente atribuiu-se à Terra uma posição central e estática no Universo. Na Antigüidade (séc. IV a.C. até séc. V da era cristã), os dogmas filosóficos e religiosos, aliados à física aristotélica, não permitiam outra possibilidade para o *status* da Terra. O conhecimento e o desenvolvimento científico estiveram atrelados à descrição aristotélica do Universo. A obra de Ptolomeu, *O Almagesto*, que propõe um modelo planetário geocêntrico, consolida esse status da Terra como o centro do Universo. Segundo Argüello e Neves, (2001, p.44), *O Almagesto* “é uma declaração de fé à doutrina aristotélica, que propunha, entre outras coisas: o geocentrismo, a esfericidade da Terra e sua imobilidade total no espaço”.

É nesse clima dogmático do geocentrismo ptolomaico e da física aristotélica que a humanidade ingressa na Idade Média (início convencional no ano 476 – séc. V da era cristã até 1473, séc. XV). Nessa era, a ciência astronômica e o desenvolvimento científico em geral não foram incentivados e tornaram-se decadentes. Para muitos historiadores, é a Idade das Trevas na história da humanidade. A predominância do pensamento religioso e cristão, numa época em que o poder político era detido exclusivamente pela Igreja Romana, praticamente banuiu o desenvolvimento das ciências e até mesmo provocou o seu esquecimento (Faria, 2003, p.32). As idéias aristotélicas praticamente desapareceram da Europa durante o primeiro milênio da era cristã, devido à dura censura dentro dos mosteiros medievais. É com a invasão dos árabes na Europa que a ciência e a filosofia gregas da Antiguidade são redescobertas e reintroduzidas, principalmente a partir do século X. Tomás de Aquino foi quem incorporou as idéias aristotélicas e ptolomaicas aos dogmas do cristianismo medieval, transformando-as em verdades incontestáveis. Surgiu nesse período (séc. XII-XIII) o pensamento escolástico, o qual representa a fusão do elemento grego com o cristão (Faria, 2003, p.34) e que se tornou a base do ensino europeu até o século XV. Segundo Argüello e Neves, (2001, p.44), a Igreja estava ávida por uma teoria que colocasse o homem no centro do Universo, comprovando que ele constituía-se na criação máxima divina. Adota, portanto, o modelo ptolomaico como dogma, verdade absoluta e inquestionável.

Durante a Idade Média, toda e qualquer teoria ou manifestação que contrariasse os dogmas religiosos era reprimida e punida severamente. A consequência mais marcante desse período é que poucos se atreviam a discutir e a defender novas idéias; o acesso a livros era muito restrito. Esses fatores tornaram esse período da humanidade um período de pouca produção e difusão de conhecimentos.

Esse contexto permanece até o séc. XV, quando começa a surgir um movimento de rebelião cultural. É o Renascimento, um dos períodos mais instigantes da história da humanidade, em que o conhecimento e a arte tiveram importância fundamental nas mudanças sociais e intelectuais que fervilharam nesse período. Até esse período, o modelo planetário geocêntrico reinou absoluto, até porque descrevia com boa precisão os movimentos planetários. É no Renascimento que homens como Copérnico, Galileu, Kepler, Newton, balançaram o mundo da Física e da Astronomia. Seus trabalhos mudaram a forma de ver o mundo e de descrevê-lo e a Terra passou a ter um novo lugar no Universo. Por isso, a era renascentista caracterizou-se como um período de revoluções dramáticas no conhecimento da humanidade. Foi um período de confrontação entre dois pontos de vista diferentes sobre o Cosmos. De um lado, a Igreja como instituição e seus representantes, como Tomás de Aquino, Santo Agostinho, defensores de Aristóteles e Ptolomeu; do outro, Copérnico, Galileu, Giordano Bruno, defendiam a hipótese heliocêntrica. Também nesse período histórico ocorreu a Reforma, na Alemanha, e as Grandes Navegações, empreendidas principalmente por Portugal e Espanha.

Aceitar a rotação terrestre, primeiramente apresentada por Heráclides, no séc. IV a.C., caracterizou-se como um processo longo. Essa hipótese sofreu resistências, mas passou a ter boa aceitação, principalmente por representar um argumento simples para o movimento diurno dos astros. Entretanto, o modelo heliocêntrico de Copérnico, no qual nosso planeta estava na mesma condição dos demais planetas conhecidos, com um movimento em torno do Sol, produziu uma revolução no pensamento científico e filosófico que avançou nos séculos XVI e XVII. O debate sobre a 'física' do Universo trouxe consigo questões religiosas e filosóficas. A Inquisição, espécie de Tribunal da Igreja para julgamento dos transgressores, punia rigorosamente quem defendesse um ideário diferente. Giordano Bruno foi queimado vivo e Galileu só não sofreu punição mais severa porque tinha contatos influentes. Copérnico não autorizou a publicação de sua obra *De Revolutionibus*, temendo as condenações da Igreja. A primeira publicação da obra de

Copérnico só chega-lhe às mãos no leito de morte, em 1543. Ele não vive para presenciar o impacto que seu trabalho produziu.

A transição de um modelo de Terra estática para o de uma Terra em movimento desencadeou uma revolução científica, apropriadamente denominada revolução copernicana. A revolução copernicana é caracterizada como o período histórico em que a hipótese heliocêntrica foi apresentada, difundida e confrontada com o paradigma da Terra geoestática e geocêntrica, até se consolidar como um novo paradigma.

A consolidação do modelo heliocêntrico se concretizou através de diferentes fatores e episódios e foi um processo gradual. Os pontos fortes desse modelo eram a descrição mais simples dos movimentos planetários em comparação com o modelo de Ptolomeu e o melhor ajustamento às observações. A ausência de provas, associada ao dogma teológico da Terra no centro do Universo, foram os principais obstáculos encontrados pela teoria heliocêntrica. Na época da publicação do *De Revolutionibus*, não estavam disponíveis, nem para Copérnico nem para seus seguidores, evidências a favor da translação terrestre. Também faltavam argumentos físicos (inércia, gravidade) para rebater as críticas. O argumento de que um objeto lançado para cima deveria cair atrás do ponto de lançamento se a Terra realmente estivesse se movendo de oeste para leste era apresentado para justificar a impossibilidade da rotação terrestre. Galileu, ao trabalhar com a relatividade, a independência dos movimentos, a inércia, fornece elementos que conseguem explicar porque o proposto nessa hipótese não se verifica. Já o fato de não ser observada a paralaxe estelar²² era o principal argumento para negar a translação da Terra.

Os argumentos e evidências favoráveis ao modelo heliocêntrico, capazes de refutar as críticas, foram desenvolvidos durante séculos. A contribuição de Galileu foi decisiva. Sua obra representou um estágio intermediário importante entre a superação da física aristotélica e a unificação da mecânica, com Newton. As descobertas das luas de Júpiter, das fases de Vênus e de crateras na Lua, devidas a Galileu, de certa forma expuseram a imperfeição do céu e romperam com a dicotomia aristotélica entre céu e Terra. A gravitação, de Newton, que representa a unificação das mecânicas celeste e terrestre e que explica o movimento orbital, surgiu 140 anos depois da obra copernicana, com a publicação dos *Principia*. Provas diretas da translação da Terra, como a confirmação de paralaxe estelar, ocorreram 300 anos depois, em 1838. Segundo

²² É o deslocamento angular de estrelas próximas à Terra, comparativamente às estrelas mais distantes, fixas, que deveria ser observado e medido caso a Terra se movimente no espaço, em torno do Sol.

Neves, (2000, p.566), “somente com os trabalhos de Galileu, de Newton, e dos experimentos decisivos para comprovação da mobilidade da Terra, como é o caso da medida da aberração estelar de Bradley em 1728, do desvio para leste de um corpo em queda livre, como o realizado por Gugliemini na Torre della Specola di Bologna em 1791, e do famoso experimento de Leon Foucault no Pantheon em Paris, em 1851, é que finalmente a Terra ganhou uma posição dinâmica no Sistema Solar”. Foram necessários três séculos entre o lançamento da hipótese heliocêntrica até sua confirmação experimental, que é etapa importante na confirmação de uma nova teoria científica.

3.12.2 Modelos geocêntricos

Embora Aristóteles e Ptolomeu sejam os defensores mais conhecidos do modelo geocêntrico, suas idéias sobre o movimento planetário e o Universo representam um pensamento compartilhado por muitos de seus contemporâneos e que se difundiu através de séculos. Premissas como o movimento natural, a necessidade de leis físicas distintas para descrever dois mundos diferentes entre si, o sub-lunar e o supra lunar, a perfeição da obra divina encarnada no Homem, eram os princípios que sustentavam as hipóteses desses sábios para o lugar da Terra no Universo. Na visão aristotélica, o repouso era o estado natural de todas as coisas. Movimentos violentos, como girar a Terra, necessariamente implicariam na ação de uma força. De acordo com essas hipóteses, não havia outra possibilidade que a da Terra parada e no centro do Universo.

3.12.2.1 Alguns modelos geocêntricos anteriores a Ptolomeu:

Anaximandro: Terra no centro do Universo circundada pelo céu esférico. Astros em movimento em torno da Terra, de leste a oeste.

Eudoxo: Modelo das Esferas Homocêntricas, no qual a Terra está parada e os demais astros descrevem órbitas segundo anéis cujo centro comum é a Terra.

Anaxágoras: Terra estática e no centro do Universo. Propõe um ordenamento para os astros a partir da Terra. A esfera das estrelas fixas seria formada por partículas ejetadas da Terra.

Pitágoras: concebeu um universo geocêntrico. Percebe a inclinação do plano zodiacal em relação ao equador celeste. Mais adiante, porém, os pitagóricos aderem ao modelo do Fogo Central, em torno do qual a Terra e o próprio Sol estariam em movimento.

Filolao de Cróton: O centro do Universo era ocupado por um Fogo Central. A Terra, portanto, ocupava uma das esferas que circundavam esse centro. Além de atribuir uma esfera para cada astro, como geralmente ocorria nos outros modelos, criou uma décima esfera, na qual estaria a Anti-Terra. Esse 10º astro deveria se juntar aos nove já conhecidos (Terra, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno, estrelas fixas) para atender à predileção dos pitagóricos pelo número dez. A Anti-Terra nunca estava visível porque permanecia atrás do Fogo Central. Ainda não é um modelo heliocêntrico, pois o Sol não ocupa uma posição privilegiada em comparação aos demais astros.

Platão: defensor entusiasta do geocentrismo e do geoestatismo. Negava inclusive a rotação da Terra, defendendo que é a esfera celeste que realiza um giro a cada 24 horas.

Aristóteles: propôs um modelo que precisa de 55 esferas para descrever os movimentos dos planetas a partir do referencial centrado na Terra fixa.

Heráclides do Ponto: Supôs a Terra em rotação sobre o próprio eixo. Com essa hipótese, teve dificuldade de explicar os movimentos de Mercúrio e Vênus. Para descrevê-los, então, propôs um modelo planetário misto: A Terra está no centro do sistema solar, mas esses dois planetas, excepcionalmente, são como luas orbitando o Sol. Esse orbita a Terra, junto com os demais planetas.

Hiparco, de Nicéia: defende o modelo geocêntrico. Descobre a precessão dos equinócios, mas essa evidência de alguma mobilidade celeste não o convence a aderir ao heliocentrismo.

3.12.2.2 O modelo de Ptolomeu

Claudius Ptolomeu (figura 17) viveu na Grécia, no século II d.C. (≈85-165 d.C.). Foi diretor da Biblioteca de Alexandria. Aproveitou a estada na biblioteca para estudar a obra de Aristóteles e de outros intelectuais. Publicou o *Almagesto*, (*He Magiste*, que significa A Maior, em árabe). Nessa obra, apresentou uma descrição detalhada dos movimentos do sol e da lua, inclusive fornecendo a previsão de eclipses. Usa uma geometria complexa, com epiciclos, deferentes e equantes (figura 18).



Figura 17: Ptolomeu

O SISTEMA DE PTOLOMEU

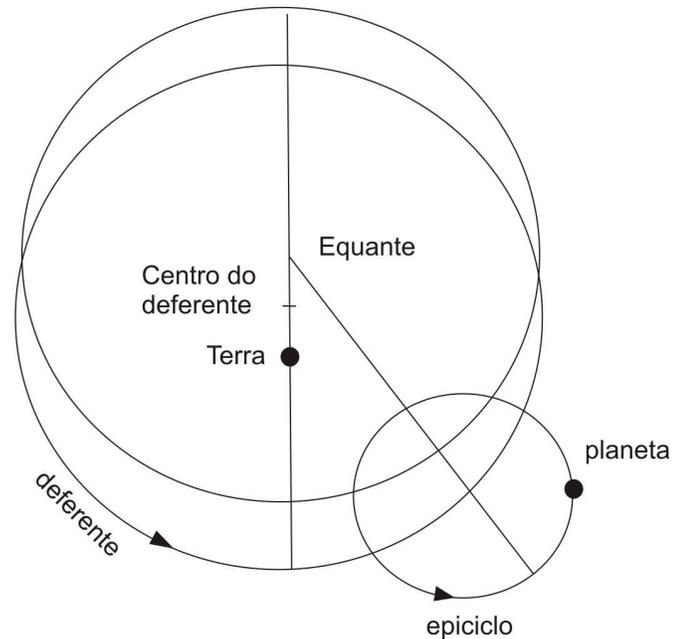


Figura 18: Os artifícios geométricos no modelo de Ptolomeu.

Segundo Ptolomeu, os planetas, a Lua e o Sol se moviam em torno dos epiciclos, cujos centros, por sua vez, se moviam em movimento uniforme ao longo de um círculo maior, o deferente. O centro do deferente não era a Terra, mas um ponto simétrico entre a Terra e o equante. Este era um ponto adicional, em torno do qual o movimento circular era uniforme, mas geometricamente esse ponto não era nem o centro do deferente e nem o centro da Terra. Conforme Ponczek, (2002, p.69), “o que Ptolomeu conseguiu, em linguagem atual, foi atribuir órbitas elípticas aos planetas, sem contudo deixar de usar o círculo como figura básica.” O epiciclo foi introduzido para explicar o movimento retrógrado de alguns planetas a partir do referencial da Terra. A Terra, a rigor, não está exatamente no centro do modelo, porque não está no centro do deferente. Esse fator fez o modelo de Ptolomeu receber críticas por se afastar dos ideais platônicos e aristotélicos.

A título de conclusão, é importante assinalar que, embora o modelo ptolomaico estivesse incorreto do ponto de vista físico, atribuindo à Terra uma posição que não é compatível com a configuração do sistema solar, revelou-se útil e correto enquanto modelo matemático-geométrico para descrever e prever posições e trajetórias planetárias. É uma questão de relatividade a escolha de um referencial na Terra ou no Sol para avaliar parâmetros associados aos movimentos

planetários. Os regimentos solares e outras tabelas com as posições dos astros, usadas tanto na astrologia quanto na orientação dos viajantes na época das Grandes Navegações, eram organizadas a partir do formalismo do modelo de Ptolomeu. Cristóvão Colombo, quando esteve em Cuba, em 1504, conseguiu salvar a si próprio e à sua tripulação de um ataque dos nativos porque sabia que naquela data, ocorreria um eclipse lunar. Alertou os índios sobre o provável fenômeno que, ao se confirmar na noite de 29 de fevereiro, provocou medo e admiração entre os que anteriormente queriam lhe linchar. Sabia do eclipse porque constava no Almanaque Perpétuo, de Zacuto, que era o regimento em uso na sua esquadra. Esse regimento adotava um referencial geocêntrico, baseado no modelo de Ptolomeu. Esse episódio é um exemplo para comprovar que essas tabelas foram muito eficazes. Por outro lado, demonstra que pode haver mais de um conjunto de hipóteses que permite explicar um mesmo conjunto de observações.

3.12.3 Modelos heliocêntricos

3.12.3.1 O modelo primordial de Aristarco

Na Antigüidade, e até o final da Idade Média predominaram os modelos geocêntricos e geoestáticos. Dentre as exceções, o modelo de **Aristarco de Samos** era o único que se configurava como um modelo heliocêntrico. O sábio grego propôs a Terra com um movimento de rotação e outro de translação em torno do Sol, invertendo os papéis atribuídos a esses astros nos modelos vigentes. No entanto, a falta de evidência experimental impediu Aristarco de impor sua hipótese. Além disso, não dispunha de conceitos físicos que pudessem refutar as críticas que eram apresentadas contra a mobilidade da Terra àquela época. Apesar de propor um modelo que é muito semelhante ao de Copérnico, sua teoria teve pouco ou nenhum impacto sobre os rumos do conhecimento científico da Antigüidade.

3.12.3.2 O modelo revolucionário de Copérnico

Nicolau Copérnico (figura 19) era polonês. Viveu de 1473 a 1543. Ao estudar na Itália, teve contato com a hipótese heliocêntrica de Aristarco. Considerou-a muito mais razoável para descrever o sistema solar do que o modelo geocêntrico vigente. Seu primeiro trabalho publicado,

Commentariolus, é uma crítica ao modelo de círculos concêntricos para as órbitas, de Eudoxo. Copérnico, portanto, desponta como um crítico do geocentrismo que, com suas hipóteses, subverte o pensamento escolástico e intensifica ainda mais as já agitadas movimentações sociais, culturais e religiosas do século XVI. Segundo Neves, (2000, p.562), a teoria de Copérnico é um divisor de águas entre o sistema baseado numa Terra estática e seu novo sistema, do Sol estático. Por um lado, Copérnico rompe com os dogmas da Terra como centro



Figura 19: Nicolau Copérnico

do Universo e, ao colocar a Terra em movimento e igual condição à dos demais planetas, desafia a física aristotélica. No modelo ptolomaico, criticou o artifício do equante e o fato dos movimentos uniformes ocorrerem a partir de um centro geométrico que não é ocupado por nenhum astro. Por outro lado, não esteve livre de motivações metafísicas, tinha uma visão de Universo finito e continuou adepto do círculo como a melhor figura para representar as órbitas.

Sua obra principal e revolucionária, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, foi publicada somente no ano de sua morte, em 1543. O conteúdo dela, no entanto, foi desenvolvido por Copérnico durante boa parte de sua vida. No modelo proposto, o Universo é composto por sete esferas concêntricas (Figura 20). A mais externa é a das estrelas fixas, seguindo-se as esferas de Saturno, de Júpiter, de Marte, da Terra, de Vênus, e a mais interna, de Mercúrio. As esferas dos planetas giram em órbitas circulares em torno de um ponto central, ocupado pelo sol. Essa (nova) ordem para os planetas a partir do Sol foi uma das realizações importantes de Copérnico. Ele também determinou as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da Unidade Astronômica. Definiu os períodos siderais dos planetas, em função de seus períodos sinódicos²³, que ele tinha medido. A obsessão pelo círculo, no entanto, fez Copérnico reintroduzir os epiciclos para explicar os movimentos de alguns planetas, para ‘salvar as aparências’.

²³ Período de tempo para duas oposições sucessivas de um planeta em relação à Terra. O período sideral é aquele necessário para que um planeta volte a ocupar a mesma posição no céu relativamente às estrelas.

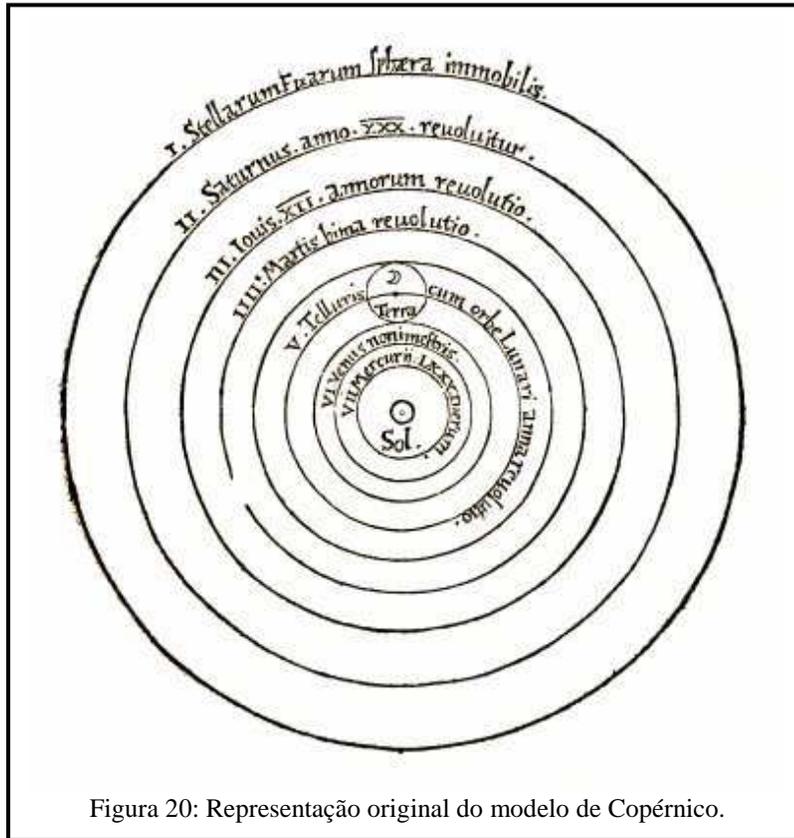


Figura 20: Representação original do modelo de Copérnico.

A hipótese heliocêntrica de Copérnico ganhou importantes adeptos. Passou a ser considerado o maior astrônomo da época, apesar do enfrentamento com a Igreja. Muitos de seus contemporâneos, porém, utilizaram seu modelo como instrumento matemático de grande eficácia e utilidade, sem aceitá-lo como verdadeiro. “Assim, a reação quase unânime dos astrônomos foi considerar a teoria de Copérnico matematicamente genial, mas fisicamente absurda” (Ponczek, 2002, p.74). Essa oposição esteve geralmente fundamentada na falta de argumentos físicos a favor de sua teoria, os quais só viriam a ser desenvolvidos por Galileu, e por Newton, após a morte de Copérnico. Para mostrar que a Terra realmente se move, foi necessário desenvolver uma mecânica diferente da aristotélica, na qual o conceito de gravidade substituiu o de movimento natural, e o conceito de inércia explicou, entre outros, porque corpos jogados para cima em um referencial em movimento caem no ponto de lançamento e não atrás dele.

3.12.3.3 Galileu Galilei

Galileu Galilei (1564-1642) (Figura 21), nascido na Itália, destacou-se tanto na Física

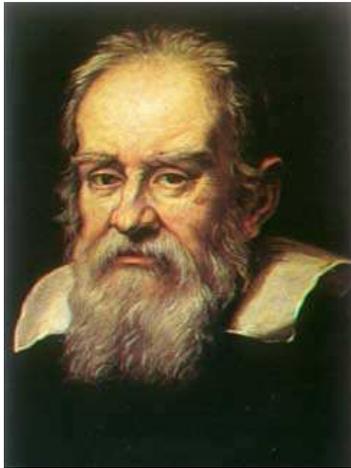


Figura 21: Galileu Galilei

quanto na Astronomia. Suas descobertas em mecânica levaram-no a discordar cada vez mais das idéias de Aristóteles, então amplamente aceitas, de que o mundo celeste era perfeito e imutável. Uma das principais divergências com a física aristotélica era quanto à velocidade dos corpos em queda. Na época, aceitava-se a idéia de Aristóteles, de que a velocidade de queda de um corpo era proporcional ao seu peso. Galileu, no entanto, demonstrou que os objetos leves eram apenas retardados pela resistência do ar. Em situações ideais, como o vácuo, supôs que todos os corpos, independentemente de suas massas, cairiam

com velocidades iguais. Esse artifício também lhe permitiu concluir que a velocidade de queda aumenta constantemente, ou seja, que a queda é um movimento uniformemente variado. Sabemos que a velocidade na queda livre varia no tempo com uma taxa que é igual à aceleração da gravidade. Essa idéia está de acordo com o conceito de campo gravitacional, proposto por Newton, que analisou os trabalhos de Galileu para conceber a sua mecânica.

Outra divergência diz respeito ao estado de movimento dos corpos; para Galileu, o movimento poderia ser um estado natural, enquanto para os aristotélicos o repouso é que ocupava essa condição. Com essa hipótese, Galileu estabeleceu o conceito de inércia como um princípio importante para explicar o movimento dos corpos. Segundo ele, a inércia seria a tendência dos corpos a se manterem em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, razão pelo qual um objeto situado na superfície terrestre não é deixado para trás enquanto o planeta se move e pela qual a trajetória de um corpo (por exemplo, uma flecha disparada de um arco) não parece ser afetada pelo movimento terrestre. Na concepção de Galileu, portanto, a Terra estava em movimento e ele defendeu essa hipótese até as últimas conseqüências. Era-lhe típico adotar posicionamento contrário às idéias convencionais, e no debate sobre o lugar da Terra no Universo não foi diferente. Com os telescópios que construiu, Galileu fazia constatações irreversíveis sobre a própria ordem do universo: a Lua mostrava ter a superfície rugosa, com montanhas e crateras, o que contrariava a perfeição que se atribuía aos corpos celestes. O Sol apresentava manchas e girava, conforme o deslocamento dessas manchas permitia ver. A Via Láctea, até então vista apenas como uma região mais luminosa no céu, revelava conter milhares de estrelas; Vênus tinha

fases variáveis, como a Lua; quanto a Júpiter, apresentava quatro outros corpos que giravam ao seu redor (e não em torno da Terra!). Era a prova de que o Universo não estava organizado conforme a versão da Igreja. Na obra *O mensageiro das Estrelas*, Galileu divulgou essas descobertas. A obra máxima de Galileu a favor do heliocentrismo, no entanto, é *Diálogo sobre os Dois Grandes Sistemas do Mundo*, publicada em 1632. É um debate entre dois personagens, um deles defensor do geocentrismo e o outro do heliocentrismo, e um personagem mediador, o juiz.

Enfrentou a Inquisição por diversas vezes. Devido à sua influência, escapou da fogueira, mas foi condenado à prisão domiciliar perpétua.

3.12.3.4 Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601), (Figura 22), era um astrônomo dinamarquês de descendência nobre, o qual se destacou principalmente devido ao amplo trabalho experimental que realizou durante toda sua vida. Passou praticamente 35 anos observando o céu em imponentes observatórios. Tycho não dispunha de telescópios, mas com outros instrumentos, teve o mérito de colher dados novos e mais precisos sobre a movimentação dos planetas e a localização de estrelas. Por esses motivos, é considerado o maior observador da história até o século XVI. Tycho foi um dos críticos ao modelo copernicano, preso à física aristotélica para criticar o novo modelo. No entanto, percebeu que o modelo de Ptolomeu tinha problemas, e propôs ele próprio um modelo geoheliocêntrico: Mercúrio e Vênus estão em órbita em torno do Sol, e esse, com os demais planetas, estão em órbita em torno da Terra. No observatório de Praga (hoje capital da República Tcheca), conheceu e trabalhou com Kepler, formando uma parceria que, embora conturbada, foi fundamental ao desenvolvimento da Astronomia. De acordo com Sagan (1992, p.59), “Tycho foi o maior observador, e Kepler o maior teórico do século XVI. Cada um sabia que, sozinho, seria incapaz de atingir uma síntese de um sistema de mundos preciso e coerente, que ambos percebiam iminente.”



Figura 22: Tycho Brahe

3.12.3.5 A contribuição inestimável de Kepler

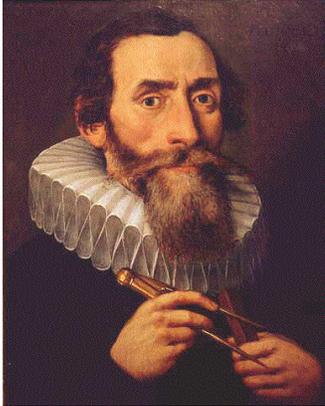


Figura 23: Johannes Kepler

Johannes Kepler (1571-1630), retratado na figura 23, nasceu na Alemanha. Sempre foi doentio e enfrentou muitas tragédias pessoais durante sua vida, muitas relacionadas ao período turbulento no qual viveu. De origem protestante, foi expulso da Áustria pela Igreja Católica, no movimento da Contra-Reforma. Isso aconteceu em 1598, quando então Kepler foi convidado a trabalhar com Tycho em Praga. Enquanto Tycho tinha os melhores instrumentos e os dados astronômicos mais completos de todos os tempos, Kepler era o homem certo para analisá-los com a genialidade que lhe era típica (Ponczek, 2002, p.80). Tycho encarregou Kepler da difícil tarefa de analisar a trajetória de Marte, a de maior complexidade por ser a mais excêntrica. Apenas em seu leito de morte, em 1601, Tycho repassou todos os seus dados a Kepler. Analisando esses dados experimentais e assumindo o modelo copernicano como correto, Kepler não conseguia compatibilizá-los com a premissa das órbitas circulares. Tentou todos os ajustes, retomou os epiciclos de Ptolomeu, todas tentativas (infrutíferas) de adequar as trajetórias observadas experimentalmente à figura circular, adepto que era do ideal pitagórico da perfeição, apesar de defender o heliocentrismo. Depois de oito anos, não sem um certo desgosto, Kepler constataria que as órbitas planetárias são elipses. Finalmente, optou pelos dados de Tycho, nos quais confiava, e não nos seus infinitos cálculos e modelos. É relevante observar a cronologia das Leis de Kepler. Ele primeiramente admitiu como correta para a descrição dos movimentos planetários a segunda lei, a das Áreas. Publica as duas primeiras leis na obra *Astronomia Nova*, de 1609. Depois é que, relutante, estabeleceu a Lei das órbitas. Ambas foram estabelecidas em 1609. A 3ª Lei, dos Períodos, é apresentada em 1618 e publicada na obra *Harmonia dos Mundos*.

A sua primeira obra *Mysterium Cosmographicum*, é um típico exemplo de que Kepler viveu numa época histórica de transição e ele próprio incorporou esse espírito. Defendia, por um lado, o antigo ideal pitagórico, e por outro, uma nova descrição e um novo conjunto de leis físicas que descrevessem o Universo. Esse trabalho foi um tratado no qual ele procurava conciliar o sistema copernicano e os ideais pitagóricos. Nessa obra apresenta seu primeiro modelo planetário, o modelo geométrico das esferas inscritas, no qual tentou estabelecer uma conexão

entre o número de planetas e o número de sólidos geométricos regulares. Kepler e Galileu foram contemporâneos. Mantiveram correspondência, embora Galileu quase nunca o citasse em seus trabalhos, somente a Copérnico. A provável razão para isso é que Galileu considerava Kepler excessivamente místico.

3.12.3.6 Newton e a consolidação do heliocentrismo

O trabalho de Kepler foi muito importante, mas foi de caráter empírico. Isto é, Kepler trabalhou para estabelecer leis que descrevessem os movimentos planetários a partir dos dados de observação de que dispunha. O porquê dos movimentos planetários ocorrerem segundo as Leis de Kepler foi uma questão respondida somente por Newton (1642- 1727), figura 24, 36 anos após a morte de Kepler. Newton, com sua intuição e inteligência inigualáveis, através dos *Principia*, produz uma poderosa síntese que envolveu tanto os trabalhos de Galileu na Física e na Astronomia quanto o trabalho de Kepler. A lei da Gravitação Universal é obtida por Newton a partir da 3ª Lei de Kepler. Também estabeleceu uma conexão entre a 2ª lei de Kepler e a força gravitacional, já que a interação gravitacional diminui com a distância. Até então, o modelo copernicano tinha dificuldades de contrapor argumentos físicos que lhe eram desfavoráveis. As leis de Newton para o movimento, e a Lei da Gravitação Universal, é que vêm fornecer conceitos físicos consistentes para rebater as críticas.



Figura 24: Isaac Newton

Para destacar o quão importante foram as contribuições de Newton e Kepler na consolidação do modelo heliocêntrico, é pertinente citar Sagan, 1992, p.70:

“Kepler e Newton representam uma transição crítica na história do homem, a descoberta que leis matemáticas bem simples prevalecem na natureza, que as mesmas leis se aplicam na terra e nos céus, e que existe uma ressonância entre o modo que pensamos e o modo que o mundo age. [...] Suas previsões de alta precisão sobre o movimento dos planetas forneceram uma evidência impulsora que, em um nível inesperadamente profundo, os homens podem entender o Cosmos. Nossa civilização global moderna, nossa visão do mundo e nossa atual exploração do universo são profundamente reconhecidas aos seus discernimentos.”

3.13 O movimento diurno dos astros e os movimentos da Terra

O Sol apresenta um movimento diário e um movimento anual. Por conseqüência, as constelações visíveis em uma determinada latitude vão mudando com o decorrer do ano. Em épocas passadas, a explicação para esses movimentos era de que o Sol e a esfera das estrelas realmente se movimentavam em torno da Terra. No entanto, hoje se sabe que esses fenômenos acontecem devido aos movimentos da Terra. Nós somos observadores situados na Terra. Adotando-se a Terra como nosso referencial, é correto afirmar que há o deslocamento das estrelas e do Sol. A situação é similar a estarmos num carrossel girando rapidamente. Há pessoas paradas ao lado do carrossel, nos observando. No referencial do carrossel, estamos em repouso, mas ao olharmos para fora dele, as pessoas que nos observam, paradas, parecem mover-se em sentido contrário ao do movimento real do carrossel. Assim é com o movimento dos astros. O Sol e as estrelas nascem e se põem todos os dias, do nosso ponto de vista, porque a Terra está em movimento e nós somos observadores olhando para o céu movimentando-nos junto com a Terra, embora não tenhamos a sensação ou a percepção desse movimento. O nascer e o pôr do sol e das estrelas, portanto, é uma conseqüência ‘visual’ do movimento de rotação terrestre.

A Lua também nasce e se põe em relação a um observador da Terra, e esse também é um efeito da rotação de nosso planeta. A Lua, porém, tem um movimento real em relação à Terra e ao Sol. Realiza um movimento de translação em torno da Terra, devido às interações gravitacionais. Por outro lado, acompanha a Terra no espaço sideral enquanto ela descreve seu movimento orbital em torno do Sol. Assim, vemos a Lua nascer e se pôr diariamente, mas esses horários de nascer e ocaso variam conforme a fase da Lua porque ela se move tanto em relação à Terra quanto em relação ao Sol. O intervalo de tempo entre duas fases iguais e consecutivas da Lua é de 29,5 dias (mês lunar). A partir disso, temos que ela se desloca no céu $\cong 12^\circ$ por dia, em relação ao Sol ($360^\circ/29,5$ dias). Por isso, o horário do nascer da Lua se atrasa em torno de 50 minutos por dia em comparação ao horário do Sol. Na fase nova, ela nasce ≈ 6 h manhã e se põe às ≈ 6 h da tarde. Na fase quarto crescente, nasce \approx meio-dia e se põe \approx meia-noite. Na fase cheia, nasce quando o sol se põe, ≈ 6 h da tarde, e se põe ≈ 6 h manhã. No referencial terrestre, portanto, a Lua e o Sol têm nascer e ocaso devido à rotação terrestre, mas há diferenças nos horários que

isso acontece porque a Lua está se deslocando em relação à Terra e também em relação ao Sol, pois acompanha a Terra na translação em torno do Sol.

O movimento anual do Sol é uma decorrência do movimento de translação da Terra. Vimos que mudam as posições no horizonte nas quais o Sol nasce e se põe e, conseqüentemente, varia a altura máxima que o Sol atinge no céu a cada dia.

O mesmo acontece em relação às estrelas. Com a translação da Terra, a cada dia encontramos, para um mesmo horário, o céu modificado em quase um grau. A partir daí, teremos outro conjunto de estrelas próximo ao horizonte oeste logo após o pôr do Sol. Depois de um ano veremos novamente, após o pôr do Sol, o mesmo grupo de estrelas que havíamos tomado como referência ano passado, como se o Sol caminhasse entre as estrelas durante o ano. No hemisfério Sul, é típico vermos a constelação de Órion cruzar o céu no verão, e a constelação de Escorpião cruzando-o no inverno. Veja a representação do céu em Lajeado, RS, em junho e em dezembro, na direção Leste, a partir de figuras obtidas do software *CyberSky*. (figuras 25.a e 25.b).

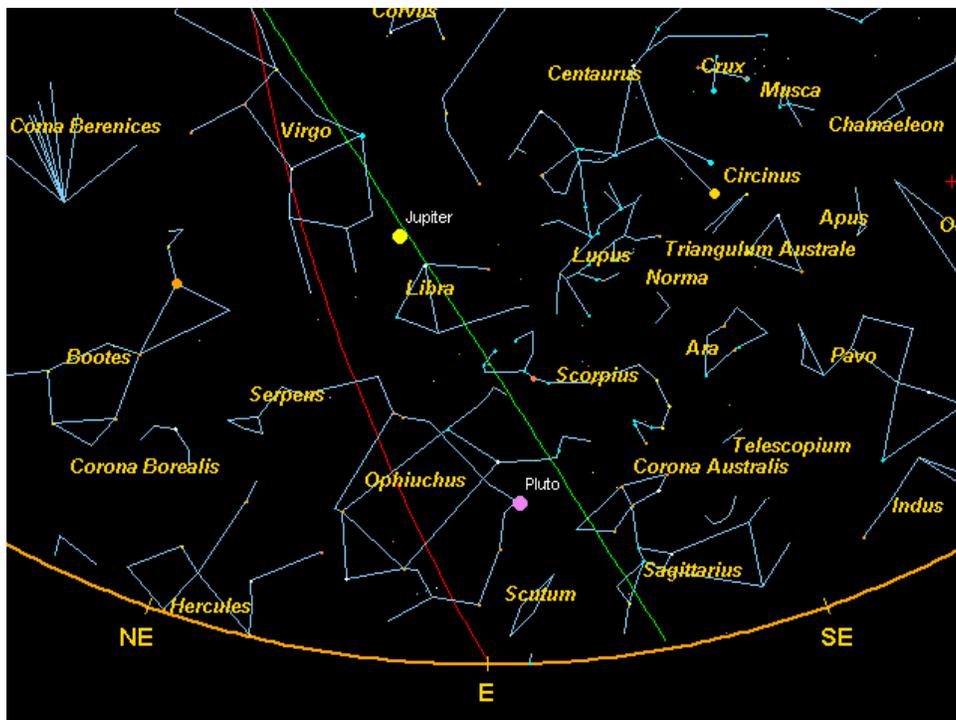


Figura 25.a: Constelação de escorpião visível na direção leste. Posição para 21 de junho, 19 h.

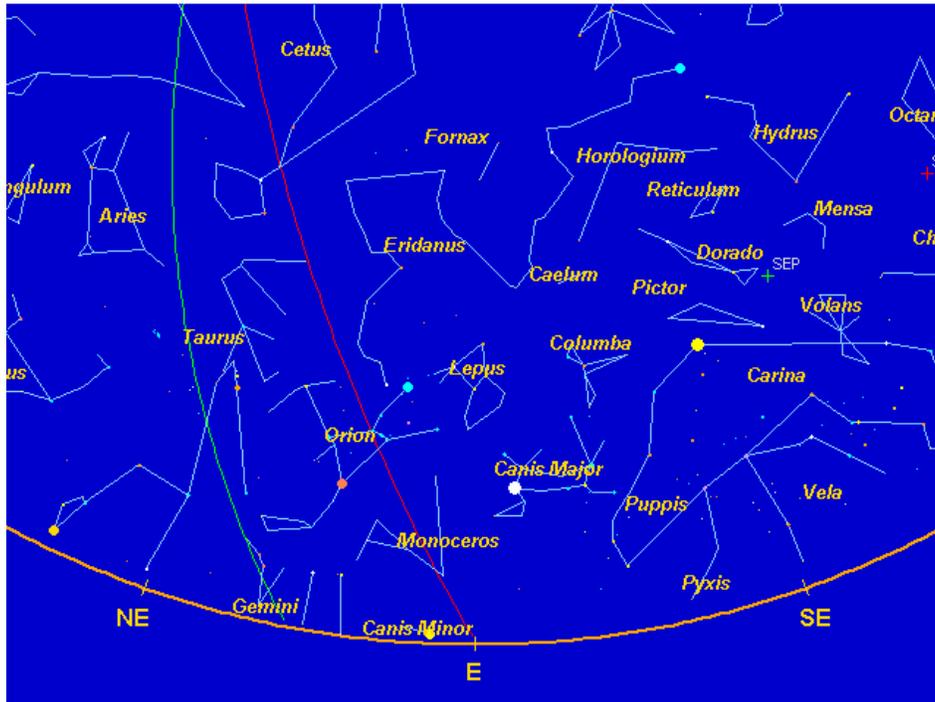


Figura 25.b: Constelação de Órion visível na direção leste. Posição para 21 de dezembro, 20 h.

As constelações do zodíaco estão relacionadas ao movimento anual do Sol. São as constelações visíveis no céu na faixa da eclíptica. Uma vez que a Terra se movimenta em torno do Sol, a constelação celeste com a qual o mesmo está alinhado vai mudando ao longo do ano. Atualmente as constelações de Virgem e de Peixes contêm os pontos de equinócio. Isto é, são as constelações nas quais a eclíptica e o equador se cruzam. As constelações de Peixes, Áries, Touro, Gêmeos, Câncer e Leão estão ao norte do equador. As constelações de Virgem, Libra, Escorpião, Sagitário, Capricórnio, Aquário estão ao sul do equador celeste. Apresentamos, na figura 26, a representação das constelações zodiacais, em cuja proximidade o Sol descreve seu movimento anual.

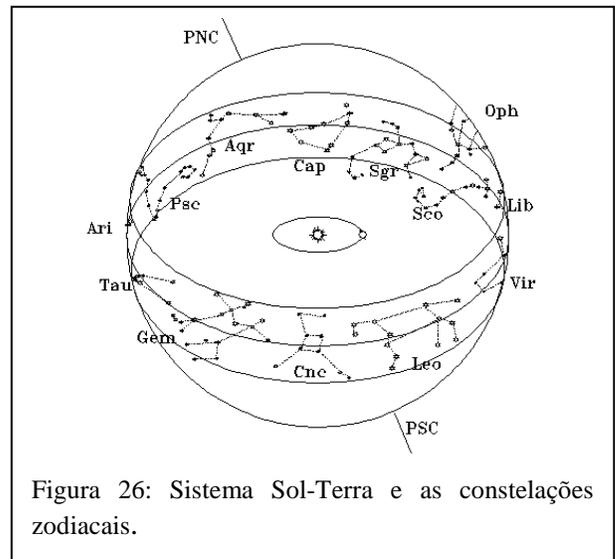


Figura 26: Sistema Sol-Terra e as constelações zodiacais.

Referências Bibliográficas

ARGÜELLO, C. A.; NEVES M. C. D. *Astronomia de régua e compasso: de Kepler a Ptolomeu*. 2ª ed., São Paulo: Papirus, 2001.

ASTRONOMY LAB. Software com animações, gráficos e diagramas sobre o Sistema Solar. Disponível em <www.personalmicrocosms.com/html/ss_alw32.html>. Acesso em 20 nov. 2007

CANIATO, R. *O céu*. 2ª ed. São Paulo: Ática, 1990.

CYBERSKY. Software de visualização e simulação da configuração do céu. Disponível em <http://www.cybersky.com/free_trial_version.htm>. Acesso em 20 jul. 2007

DASH, J. *O prêmio da longitude*. São Paulo: Cia das Letras, 2002.

EARTH VIEW. Imagens da Terra. Disponível em: <<http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth/>> . Acesso em 27 jul. 2008

FARIA, R. P. *Fundamentos de Astronomia*. 7ª ed. Campinas, SP: Papirus, 2003.

FEIGENBERG, J.; LAVRIK, L. V.; SHUNYAKOV, V. Space Scale: Models in the History of Science and students' mental models. *Science & Education*, New York, v.11, n.4, p. 377-392, 2002.

FENDT, W. *Applets sobre Leis de Kepler*. Disponível em: <<http://www.walter-fendt.de/ph14e/keplerlaw2.htm>>. Acesso em 20 dez. 2007.

FENDT, W. *Applet sobre movimento aparente da esfera celeste*. Disponível em: <<http://www.walter-fendt.de/a14e/celpoles.htm>> . Acesso em 20 dez. 2007.

Investigando a Terra – earth science curriculum project. Vol 1. Versão Brasileira São Paulo: Mc. Graw-Hill do Brasil, 1973.

KLINK, A. *Mar sem fim: 360° ao redor da Antártica*. 2ª ed, São Paulo: Cia das Letras, 2004.

Le Pendule de Foucault. Disponível em: <<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html>>. Acesso em 27 jul. 2008.

MOURÃO, R.R.F. *A astronomia na época dos descobrimentos*. Rio de Janeiro: Lacerda Ed., 2000.

MOURÃO, R. R. F. *Que dia é hoje?* São Leopoldo, RS: Editora Unisinos, 2003.

NEVES, M.C.D. A Terra e sua posição no Universo: formas, dimensões e modelos orbitais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.22, n.4, p. 557-567, 2000.

OLIVEIRA Fº, K. S.; SARAIVA, Mª F. O. *Astronomia & Astrofísica*. 2ª ed., São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2004, p. 1-69.

OLIVEIRA Fº, K. S.; SARAIVA, Mª F. *Astronomia e Astrofísica*. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br>> . Acesso em 20 nov. 2007.

PONCZEK, R.L. et al. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica. In: *Origens e evolução das idéias da Física*. ROCHA, J.F. (org.) Salvador: EDUFBA, 2002, cap.1, p. 17-135.

RIVAL, M. *Os Grandes experimentos científicos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997. p. 9-12; 34-36; 69-71; 78-81.

SAGAN, C. A Harmonia dos Mundos. In: *Cosmos*. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora, 1992. Cap. III, p. 45-71.

VALADARES, J. et al. *Terra no Espaço (Ciências Físicas e Naturais, 3º ciclo do Ensino Básico)*. Lisboa: Plátano Editora, 2004.

Translação da Terra e momentum angular. Disponível em: <<http://www.shermanlab.com/science/physics/mechanics/EarthSun.php>>. Acesso em 12 nov. 2006.

Apêndice 3

Textos complementares

Texto complementar 1: *A Astronomia e as Navegações*

Texto complementar 2: *O difícil problema de medir a longitude*

Texto complementar 3: *Alguns fenômenos com origem nas interações gravitacionais*

Texto complementar 4: *Efeitos da rotação terrestre através de um caso concreto: a viagem de Amir Klink.*

Texto complementar n° 1

A Astronomia e as Navegações

No fim do século XV e durante o século XVI, houve uma expansão das navegações, patrocinada por alguns países europeus, na cobiça de encontrar novas terras, apossar-se delas e dominar as rotas comerciais. É a época das grandes navegações, decorrida num período em que praticamente não havia instrumentos para realizar as medições necessárias à determinação de posições. Para medir latitudes, havia astrolábios e quadrantes, usados para determinar a altura de estrelas ou do Sol. Para medir a longitude, no entanto, não havia nenhum instrumento. A velocidade era estimada em nós, o tempo de viagem era medido de um modo um tanto impreciso através de ampulhetas...

No período anterior às grandes navegações, a forma mais comum de orientação era a observação de pontos costeiros, já que não havia viagens mais longas ou que se afastassem dos continentes conhecidos. As distâncias percorridas e a localização eram estimadas com técnicas de pouca precisão, caracterizando o que se denomina “navegação por estima”.

Com o advento de viagens mais prolongadas, em que meses se passavam em alto-mar e se perdia a orientação visual através de pontos costeiros, os navegadores viram-se obrigados a confiar em algo mais que a navegação por estima. Passaram a utilizar mais sistematicamente cartas e regimentos celestes como complemento às suas técnicas de orientação. A presença de astrônomos passou a ser necessária, tornando-se sistemática nas principais expedições. O conhecimento e o estudo do céu e o domínio de técnicas para orientar-se a partir dos astros tornou-se um conhecimento necessário à sobrevivência e ao êxito das viagens marítimas, impulsionando o desenvolvimento da astronomia. Por outro lado, as conquistas e os êxitos no período das Grandes Navegações, e seus reflexos na hegemonia política e econômica de nações européias, estiveram alicerçados em conceitos físicos e astronômicos desenvolvidos no campo da astronomia.

Fatos históricos revelam que, principalmente em Portugal, houve investimento e apoio oficial para o desenvolvimento da Astronomia Náutica, reconhecida como ciência para apoiar e garantir o sucesso das viagens marítimas empreendidas por essa e outras nações européias. Em Portugal, ainda no século XIII, durante o reinado de D. Diniz, o Lavrador (1261-1325, rei em 1279), foi fundada uma escola de marinharia que pode ser tida como o embrião da ciência náutica

em Portugal. Já no séc. XV, o infante Henrique, filho de João I, está determinado a avançar mais nas viagens marítimas. Sabe, no entanto, que para isso é necessário desenvolver bases científicas para apoiar a idéia (Mourão, 2000, p.10). Entre as ações para implementar sua meta, está a criação de um grupo de pesquisa dedicado à navegação. Também estimulou o desenvolvimento da matemática, cujos princípios apoiavam teoricamente a navegação e a própria astronomia. No reinado de D. João II (1455-1495, rei em 1481), continua o incentivo ao desenvolvimento da astronomia e da matemática como subsídios teóricos à missão prática de navegar pelo globo. Essa convergência de investimentos e políticas voltadas às navegações teve como consequência que “a navegação, sob a proteção real, atingiu um desenvolvimento notável, que tornaria o próximo reinado, de D. Manuel I, (1469-1521, rei em 1496), a idade de ouro dos grandes descobrimentos portugueses” (Mourão, 2000, p.11).

Historicamente, nota-se que a astronomia desenvolveu um papel fundamental na evolução das navegações e nas descobertas realizadas. No início das navegações, essa ciência tem uma função de complementar os métodos de orientação já usados e que inspiravam maior confiança aos marinheiros. Gradativamente, vai conquistando mais espaço até atingir um estágio em que a observação dos astros se transforma na principal forma de orientação dos navegantes. Vale a pena transcrever a passagem de Mourão, (2000, p.63), na qual sintetiza essa evolução do papel da astronomia enquanto ciência que revolucionou a arte de navegar e expandiu as fronteiras do mundo até então conhecido.

Antes de atingir sua plenitude, a astronomia náutica quatrocentista no Atlântico passou por diversas etapas: na primeira metade do século, fase pré-astronômica, os pilotos se interessavam pela determinação da altura da Estrela Polar em relação ao horizonte, verificando se ela diminuía à medida que singravam para o Sul. Na segunda etapa, nos primeiros anos do século XV, os pilotos procuravam identificar o lugar da costa a ser atingido, fixando a posição do navio, quando não se avistava terra, comparando as alturas meridianas da estrela Polar. Na terceira etapa, o processo anterior foi aperfeiçoado, passando-se a recorrer às comparações de alturas de outras estrelas facilmente identificáveis, assim como à altura da Estrela Polar. Na quarta etapa, a comparação das alturas de estrelas conduziu os pilotos à determinação das latitudes ao se verificar que a diferença das alturas meridianas obtidas de uma mesma estrela era equivalente à diferença das coordenadas geográficas em dois lugares. Quando usavam o Sol, as duas alturas tinham que ser consideradas no mesmo dia, ou em dias não muito afastados, em virtude do movimento aparente do Sol variar sensivelmente de um dia para outro. Na quinta etapa – a última – fase astronômica, os pilotos começaram a determinar a latitude medindo a altura do sol em sua passagem pelo meridiano do lugar, uma vez conhecida a declinação solar no momento da observação. Esta atividade de “pesar” o Sol, como se dizia, ou seja, de determinar a latitude por intermédio da observação solar, foi imortalizada por Camões, em *Os Lusíadas*.

No trecho acima, vemos que, entre vários fatores que tornam a Astronomia uma ciência que cumpriu um papel fundamental no desenvolvimento e na organização da vida humana, está sua contribuição na função de orientação e localização. Antes mesmo de serem usados mapas terrestres, era muito comum o uso de mapas celestes. De acordo com Mourão, (2000, p.163), os globos celestes precedem historicamente os terrestres. O motivo para isso é simples: enquanto a abóbada celeste era visivelmente esférica, a forma esférica da Terra só podia ser inferida através de evidências indiretas. Os primeiros globos terrestres só surgem no fim do século XV²⁴, quando as navegações para mar aberto e regiões mais afastadas tomam forma e tem-se que lidar, na prática, com a hipótese da terra redonda. Já os primeiros globos celestes datam da era Antiga²⁵, visto que a observação e a configuração celestes eram mecanismos importantes para a orientação sobre a superfície da Terra.

Vejam os brevemente como uma ação simples de olhar para o céu ajuda na orientação e localização de pontos sobre a Terra. Vimos anteriormente que a altura de uma estrela a partir do horizonte não é sempre a mesma. Isso ocorre porque o horizonte de observadores situados em pontos diferentes em uma superfície esférica não é o mesmo.

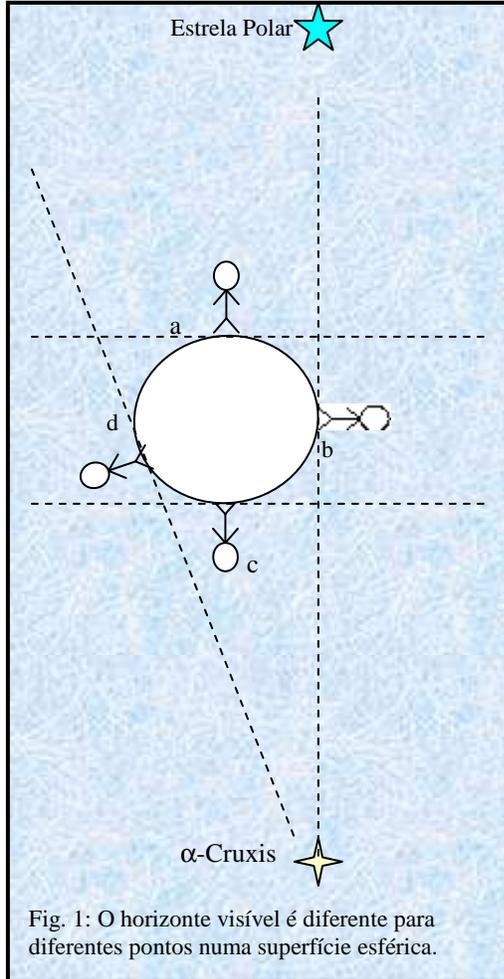
A figura 1 é um esboço muito simples, fora de escala, que representa quatro observadores *a*, *b*, *c* e *d*, situados em pontos distintos da esfera terrestre.

Vemos que o plano do horizonte de cada um deles é diferente. Isso é que explica porque nossa vista do céu depende de nossa localização. O observador *a*, situado no pólo norte terrestre verá a estrela polar exatamente acima de sua cabeça, a 90° do horizonte. Contudo, para ele não está visível o Cruzeiro do sul, próximo ao pólo celeste Sul. Já para o observador *b*, no equador terrestre, tanto a Estrela Polar quanto o Cruzeiro do Sul estarão visíveis, embora muito próximos da linha do horizonte, com altura próxima de 0°. Para o observador *c*, no pólo sul terrestre, estará visível o Cruzeiro do Sul, mas não a estrela Polar. Por último, o observador *d* não vê a estrela Polar, vê o Cruzeiro do Sul, mas com uma altura diferente em relação ao observador *c*. Essa diferença na altura de estrelas conhecidas equivale ao deslocamento realizado, em graus, sobre a superfície terrestre. É um parâmetro para determinar a latitude de um lugar, já que a diferença de alturas entre as estrelas de referência é igual à diferença entre as latitudes nos dois lugares Assim,

²⁴ O mais antigo globo terrestre que se tem notícia encontra-se atualmente no Museu Nacional de Nuremberg, construído em 1492 por Martin Behai (1459-1506). (Fonte: Mourão, 2000, p. 163).

²⁵ O primeiro globo celeste é atribuído a Anaximandro, no séc. IV a.c. Todavia, o que se conhece da representação do céu mais antiga são as indicações existentes no Almagesto, de Ptolomeu (100-170 d.c.), do séc II. Ibidem, p. 164.

conhecendo-se a latitude do ponto de partida de uma viagem e a altura de uma estrela qualquer nesse local, pode-se determinar a latitude do ponto de destino, medindo-se ali a nova altura da estrela escolhida.



Os navegadores sabiam a altura da estrela polar, nas cidades onde iniciavam suas viagens. À medida que se deslocavam de norte a Sul, iam medindo novamente essa altura. Uma vez que a estrela Polar está muito próxima ao pólo celeste norte, e a latitude de um lugar corresponde à altura do pólo acima do horizonte, medir a latitude de novos lugares consistia basicamente de medir a nova altura dessa estrela; a diferença entre as alturas medidas equivale à diferença de latitude entre o ponto de partida e o ponto atual. Outro método que foi bastante usado para medir a latitude era medir a altura do Sol no meio-dia local. Esse dado era aplicado em fórmulas previamente determinadas nos regimentos, cuja solução fornecia a latitude do lugar. Essas fórmulas tinham outros parâmetros, como a época do ano, a direção da sombra, e o afastamento do sol a partir do equador.

Se hoje em dia é relativamente fácil determinar as coordenadas de qualquer lugar, em qualquer ambiente, assim não o foi na Antiguidade ou na época das descobertas lusas e espanholas. Segundo Mourão, (2000, p.13), “não há dúvida de que a comodidade atual provém de séculos de progressos científicos e desenvolvimentos tecnológicos”. E continua, avaliando o impacto da astronomia sobre as descobertas que marcaram a história: “Apesar das dificuldades de nossos antepassados, toda a náutica dos séc. XV e XVI foi também resultado de estudos e observações. Esses, ao se embrenharem no mar e perderem de vista os pontos costeiros com os quais se orientavam, procuravam nas estrelas os sinais que lhes faltavam” (ib, p.13).

Texto complementar n° 2

O difícil problema de medir a longitude

O prêmio da Longitude

Já na Antiguidade, há registros de que os viajantes se orientavam através das estrelas para viajar. À medida que as distâncias percorridas foram aumentando e o homem se lançou ao mar, saber a localização aproximada sobre a superfície terrestre era uma questão de sobrevivência. A latitude era fácil de medir, através da variação da altura de algumas estrelas principais. Já a longitude permaneceu até o século XVIII sem uma solução viável, tornando-se um problema de grandes proporções para aqueles países que investiram alto nas navegações como forma de dominar novas terras e estabelecer novas relações comerciais. Para driblar o problema, era comum que os navegadores viajassem num mesmo paralelo de latitude, para manter o rumo leste-oeste regular. As distâncias percorridas em milhas permitiam estimativas geralmente erradas quanto à longitude. Era comum errarem as distâncias por dezenas ou centenas de milhas e isso provocou várias tragédias no mar.

Grandes potências navais como França, Espanha, Portugal, Veneza, passaram a oferecer prêmios a quem conseguisse resolver o problema da longitude. A Inglaterra, embora não estivesse entre os países que propunham a oferta de prêmios, construiu o **Observatório Real de Greenwich**, em 1675, com o propósito de descobrir a tão desejada longitude no mar, para o aperfeiçoamento da arte da navegação. Uma tragédia que envolveu 21 navios britânicos que estavam voltando para casa fez com que também o governo inglês se empenhasse na solução do problema da longitude. O desastre foi em 1707. Quatro navios da frota chocaram-se contra um recife próximo das ilhas *Scilly*, vitimando entre 1000 e 2000 homens. O uso de mapas imprecisos, que freqüentemente tinham pouca correspondência com a realidade, ou a estimativa errada da posição e das distâncias percorridas, motivaram o desastre, cuja causa básica foi o desconhecimento da longitude.

A repercussão pública da tragédia fez com que o Parlamento inglês aprovasse, em 1714, uma lei oferecendo um alto prêmio para quem resolvesse o problema de medir a longitude, com a condição de que a solução proposta fosse analisada e aprovada pela Comissão da Longitude. As soluções favoritas eram as que envolviam a determinação de posições dos astros em lugares diferentes. Entre elas, comparar os horários que a lua está numa mesma posição em dois lugares

diferentes. A diferença de horários para os quais a lua ocupa uma mesma posição no céu, para observadores em lugares diferentes, serviria para determinar a longitude. Também a observação das luas de Júpiter foi sugerida, mas com telescópios rudimentares e a turbulência em alto-mar, resultava infrutífero tentar observá-las. Na prática, o problema permanecia. Resolver o problema através de relógios era considerada uma solução muito simples e pouco confiável, visto que relógios com funcionamento preciso não existiam no séc. XVIII.

Nesse contexto, em que soluções que envolviam os astros eram as preferidas, surge o relojoeiro de uma pequena vila inglesa, determinado a construir um relógio com a precisão exigida nos termos do prêmio. John Harrison, inicialmente com o ofício de carpinteiro herdado do pai, era um gênio em mecânica. Envolvido profundamente com o “Problema da Longitude”, construiu pelo menos cinco relógios (H1, H2, H3, H-4, H-5) com o intuito de solucioná-lo.

O princípio pensado por Harrison é adotado até hoje, qual seja: medir a longitude medindo-se a diferença de horário entre pontos diferentes da superfície terrestre. Para definir a longitude através dos horários, usa-se um raciocínio simples: cada hora equivale a 15° da circunferência terrestre e cada minuto equivale a 15 minutos de arco ($15'$), pois 4 min de tempo equivalem a 1° . A longitude é obtida sabendo-se a diferença de horário entre Greenwich, onde se mede a Hora Universal, e a hora local, medida geralmente pela passagem meridiana do sol, que define o meio-dia local.

Trabalhou de 1727 até sua morte, em 1776, na construção dos mesmos. Seu envolvimento foi tanto que abandonou a cidade onde vivera até a idade adulta, mudando-se para Londres. Parou de trabalhar e vivia de migalhas e de algumas ajudas de custo que a Comissão de Longitude lhe concedeu. Nesse período, vários episódios se sucederam até que finalmente a comissão admitisse como correta e confiável a solução de Harrison. Embora estivesse correto em seu raciocínio e os relógios que construiu tivessem uma precisão impressionante para a época, a elite inglesa, e a Comissão da Longitude, especialmente criada para avaliar as soluções para o problema de medir a longitude, não reconheceram a solução proposta por Harrison. Esse não se deixou abater pelos longos anos de trabalho e incredulidade quanto a sua proposta. Discutiu, debateu, argumentou, brigou, mas foi incrivelmente ousado e persistente na defesa e na implementação do que se transformou no seu projeto de vida. Buscou apoio em famosos como Edmund Halley e no próprio rei inglês, George III, quando os atritos com os membros da Comissão chegaram a tal nível que o

diálogo já não era mais possível. Seus relógios foram submetidos a sucessivos testes, alguns informais e outros oficiais, esses com o acompanhamento da Comissão.

Mais de 60 anos de disputas, testes e discussões se passaram até que o método de Harrison foi reconhecido e posto em prática. Já no final da vida de Harrison é que a Comissão admite que os relógios oferecem uma maneira prática de determinar a longitude. Apesar disso, não lhe concederam o prêmio oficial, mas apenas uma recompensa por sua dedicação exemplar e uma vida inteira de pesquisa. Não foi reconhecido e laureado como aquele que resolveu o problema da longitude, como bem mereceria. Mas a arte de navegar foi transformada para sempre, tornada mais segura após a invenção de Harrison. Seu lugar na História está garantido. Todas as embarcações, até hoje, determinam a longitude utilizando relógios náuticos que foram concebidos por Harrison.

CURIOSIDADES:

✓ **Greenwich** é uma pequena cidade inglesa próxima a Londres. O meridiano que passa por lá foi escolhido como o meridiano zero para os fusos horários e para medidas de longitude em homenagem a John Harrison. Um dos vários testes a que seus relógios foram submetidos ocorreu no Observatório Real de Greenwich, durante 1766, sob a supervisão do Astrônomo Real, Maskelyne.

✓ **As coordenadas** de latitude e longitude e seus planos fundamentais.

O **equador** é a linha imaginária sobre a superfície da Terra que separa os dois hemisférios. O plano perpendicular ao eixo da Terra e que passa pelo seu centro, dividindo-a em dois hemisférios ou metades, Norte e Sul, é o plano a partir do qual são medidas as latitudes.

Um **paralelo** é uma linha paralela ao equador.

Um **meridiano** é uma linha que divide a Terra em duas metades e passa pelos pólos norte e Sul.

O **Meridiano de Greenwich** é o meridiano de referência para os fusos horários e medidas de longitude. Seu meridiano oposto é a Linha Internacional de data, também conhecido como antimeridiano.

Hiparco, filósofo grego da Antigüidade, foi quem primeiro dividiu a Terra em 360°, iniciando o sistema de coordenadas de longitude e latitude como são usadas até hoje. **Eratóstenes**, na Antigüidade, também elaborou um mapa da Terra dividido com meridianos e paralelos.

✓ **Linha internacional de Data:** é uma linha que passa praticamente ao longo do meridiano de 180° de longitude. Sua localização foi definida por acordo internacional (Fig. 2). Não importa qual seja a hora a oeste da Linha de Data, a leste será sempre um dia antes. Em qualquer viagem em que se cruze essa linha, em qualquer horário, ocorrerá mudança de data para o viajante. Se a viagem for no mesmo sentido da rotação terrestre, ao cruzar-se a Linha de Data volta-se ao dia anterior. Exemplo: Alguém está indo do Japão para os Estados Unidos através do Pacífico, numa tarde de terça-feira. Quando cruzar a Linha de Data, o viajante estará novamente na tarde de segunda-feira, pois a leste da linha sempre é um dia antes do que a oeste. Se a viagem for no sentido oposto ao da rotação da Terra, ao cruzar-se a Linha de Data avança-se exatamente um dia. Exemplo: Alguém está viajando dos Estados Unidos para o Japão, pelo Pacífico. Supondo que estará cruzando a Linha de Data ao meio-dia da terça-feira, assim que cruzá-la será imediatamente meio-dia do

dia seguinte, quarta-feira, e ele não viverá o entardecer dessa terça... Isso ocorrerá porque, pelo acordo, a oeste da Linha avança-se um dia, independente da hora.

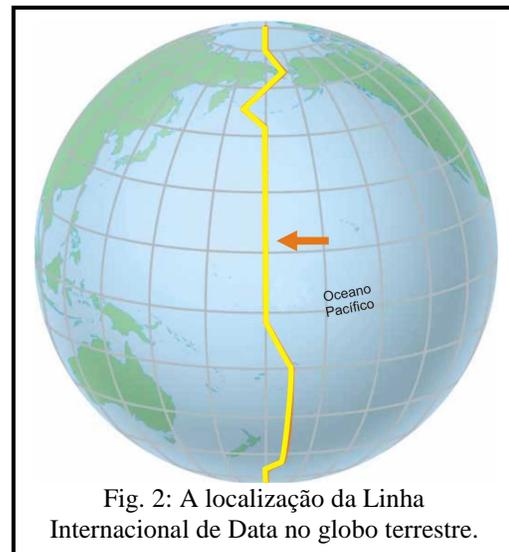


Fig. 2: A localização da Linha Internacional de Data no globo terrestre.

O navegador brasileiro Amyr Klink viveu essa experiência e a relata no seu livro *Mar sem Fim*. Nessa viagem, ele circumnavegou a Terra em latitudes próximas a 60°S, praticamente costeando o continente gelado. A rota do barco Paratii, em projeção polar, seguiu o sentido de rotação da Terra – horário. Estava a 9 de janeiro, sábado, e conta como transcorreu o fato:

“Em cinco dias, apesar do vento contrário, da buraqueira e da ansiedade de andar mais rápido, engoli as setecentas milhas que me separavam a passagem de Macquarie do Hemisfério Oeste – da linha do antimeridiano. No sábado, às 22h04 locais, 8h04 horário do Brasil, cruzei a bendita linha de data. De volta ao Hemisfério de casa. [...] Instantaneamente, enquanto cantarolava idiotices, voltei para a sexta-feira, dia 8, e uma hora e 56 minutos depois começou outra vez o sábado, 9 de janeiro. Fim de semana com dois sábados, duas vezes o dia 9 de janeiro, e chuva por todo lado. Em vez de catorze horas à frente do Brasil, agora estava dez horas para trás!” (Klink, 2004, p. 118).



Figura 3: Estádio de futebol Zerão, em Macapá, AP.

✓ **O Zerão** (Figura 3) é o estádio de futebol oficial do estado do Amapá, localizado na capital, Macapá. Essa capital brasileira é cortada pela linha do equador. Parte da cidade está no Hemisfério Norte e parte está no Hemisfério Sul. O Estádio Zerão foi construído de modo que a linha do meio de campo coincida com a Linha do Equador, ou seja,

enquanto os times jogam, eles se movimentam alternadamente entre os hemisférios norte e sul terrestres.

✓ **As ilhas Scilly** estão situadas ao sudeste da Inglaterra, próximas da península da Cornualha. Veja detalhes na Figura 4.

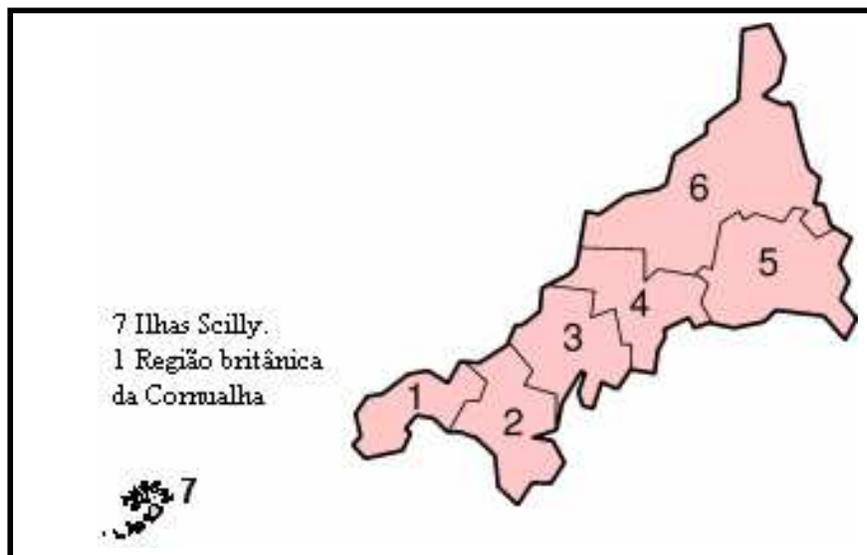


Fig 4: Mapa da Inglaterra mostrando as ilhas onde houve o naufrágio em 1707.

✓ O procedimento de Eratóstenes

Eratóstenes escolheu Siena (atualmente Assuã), pois é uma cidade que está muito próxima ao trópico de Câncer. Nesse ponto, no solstício de verão, o sol está a pino, isto é, um gnômon não produz nenhuma sombra na hora do meio-dia. Já em Alexandria, mais ao norte, no mesmo horário, um gnômon idêntico produzirá uma certa sombra. Eratóstenes mediu o ângulo formado em Alexandria pelos raios do Sol, no dia de solstício de verão, ao meio dia. Sabia que esse ângulo era igual ao ângulo entre Siena e Alexandria, tendo como vértice o centro da Terra. Encontrou 7° . Como sabia a distância entre Siena e Alexandria através da superfície, de 5.000 estádios, com um cálculo simples chegou à medida de 250.000 estádios.

O estádio é uma unidade de distância antiga, usada pelos gregos, cujo valor era bastante variável – de 147 a 192 metros. Se assumirmos para um estádio o valor médio de 155 metros, veremos que Eratóstenes obteve um valor muito próximo do atual, que é de 40.000 km para a circunferência e de 6.378 km para o raio terrestre no equador. A figura 4 sintetiza o procedimento do geômetra e matemático grego.

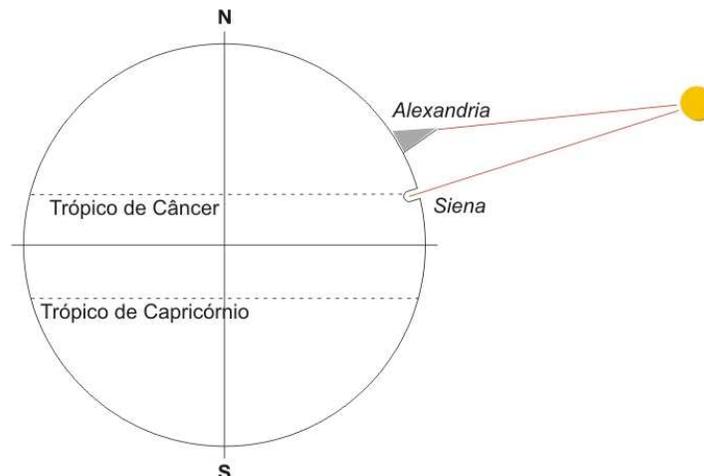


Fig. 5: O raciocínio e o procedimento de Eratóstenes

Texto Complementar nº 3

ALGUNS FENÔMENOS COM ORIGEM NAS INTERAÇÕES GRAVITACIONAIS

1 Marés

Newton demonstrou que a atração gravitacional entre dois corpos depende da distância entre eles. A força gravitacional entre a Terra e a Lua é mais forte sobre o lado da Terra que está mais próximo da Lua, e mais fraca sobre o lado oposto, que está mais afastado. Newton, a partir desse raciocínio, demonstrou que as marés são causadas pelas diferenças na atração gravitacional entre a Lua e a Terra sobre os lados opostos de nosso planeta. (Hewitt, 2002, p. 161). As diferenças de forças gravitacionais em pontos diferentes da Terra originam forças internas, chamadas forças de maré, que tendem a alongar a Terra na direção da linha Terra-Lua. O efeito sobre a parte sólida da Terra é pequeno devido à sua maior rigidez, mas sobre a parte líquida o efeito é bem aparente, sendo que as águas se amontoam no lado da Terra voltado para a Lua e no lado diametralmente oposto. Assim, temos que dois pontos da Terra estarão tendo maré alta enquanto outros dois pontos, maré baixa. Após 12 horas, (meia rotação da Terra), o ponto mais distante estará agora mais próximo, e novamente experimentará uma maré alta. O resultado disso é que em aproximadamente um dia, ocorrem duas marés altas e duas marés baixas nas águas oceânicas. A cada 6 horas, ou a cada quarto de volta, as massas oceânicas deslocaram-se, junto com a Terra, de posições que provocam uma maré alta para uma posição de uma maré baixa, alternadamente. As marés na Terra são combinações das forças de maré provocadas pela Lua e pelo Sol, e embora as forças de maré provocadas pela Lua sejam dominantes, respondendo por mais de 50% do efeito total, a contribuição devido ao Sol não é desprezável. Devido a isso a intensidade das marés varia com as fases da Lua: as variações entre maré alta e baixa são maiores nas fases de Lua Nova e Cheia, quando as marés do Sol e da Lua tendem a deformar a Terra na mesma direção, e são menores nas luas Quarto-Crescente e Quarto-Minguante, quando as marés do Sol e da Lua tendem a deformar a Terra em direções perpendiculares.

No link sugerido a seguir você visualiza uma animação demonstrando que a maré é um efeito conjunto da atração gravitacional da Lua e do Sol sobre a Terra.

http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/tide06a_450.gif.

Outros links sugeridos:

Previsão dos horários de maré alta e maré baixa para o litoral Sul do Brasil.

<http://www.cem.ufpr.br/mares.htm>

2 O movimento de precessão da Terra

Assim como o movimento de translação da Terra e de outros planetas em torno do Sol ocorre devido principalmente à interação gravitacional entre cada planeta e nossa estrela, o movimento de precessão também é ocasionado por interações gravitacionais entre a Terra e outros astros. Predominantemente, é a interação com o sol e com a lua a responsável pela precessão dos equinócios.

O movimento de precessão consiste num movimento do eixo da Terra em torno do eixo da eclíptica (o eixo perpendicular ao plano da órbita terrestre). Com esse movimento, o eixo de rotação da Terra descreve um movimento cônico no espaço, alterando lentamente sua posição em relação às estrelas fixas. É similar ao giro de um pião em torno de seu eixo de apoio, que é perpendicular ao solo.

2.1 Os efeitos do movimento de precessão

O movimento de precessão da Terra é bastante lento. Para que o eixo de rotação terrestre faça um giro completo (360°) em torno do eixo da eclíptica são necessários 25.800 anos. Uma das conseqüências desse movimento é que o pólo celeste, definido como a projeção do pólo terrestre na esfera celeste, vai mudando lentamente de posição com o passar do tempo. Atualmente, o pólo celeste norte está na direção da estrela polar, na constelação boreal da Ursa Menor, mas há 12.900 anos, estava numa posição oposta a essa. Daqui a mais 12.900 anos, estará nas proximidades da estrela Vega, na constelação de Lira (Kepler e Saraiva, 2004).

Outra conseqüência do movimento de precessão terrestre é a precessão dos pontos de equinócio. Os pontos de equinócio são os dois pontos da eclíptica em que ela é interceptada pelo equador celeste. Um deles é chamado ponto Vernal, ou ponto γ , e o outro é chamado ponto Libra, ou ponto Ω . Durante seu movimento anual aparente ao longo da eclíptica, o Sol alcança o ponto Vernal entre 21 e 23 de março, quando acontece o equinócio de outono para o hemisfério sul, e cruza o ponto Libra entre 21 e 23 de setembro, quando acontece o equinócio de primavera para as regiões austrais. Nessas duas datas aproximadas a linha que une Terra e Sol coincide com a linha de interseção do plano orbital da Terra e o plano determinado pelo equador celeste, e a luz solar incide diretamente sobre o equador da Terra. Ao cruzar o ponto Vernal, o Sol está atravessando o equador celeste de sul para norte. Por isso, o ponto Vernal

marca o equinócio de outono para o hemisfério sul e da primavera para o hemisfério norte. Ao cruzar o ponto Libra, o Sol está atravessando o equador celeste indo do norte para o sul, e inicia então a primavera no hemisfério sul e o outono no hemisfério norte. À medida que o eixo de rotação da Terra precessiona, o equador celeste acompanha esse movimento e, portanto, os pontos equinociais se deslocam sobre a eclíptica, no sentido de irem ao encontro do Sol. A localização dos pontos Vernal e Libra relativamente às estrelas vai mudando. Atualmente, o ponto Vernal está na constelação de Peixes. Outrora, estava na constelação de Áries. A Tabela 1 esquematiza a posição do ponto vernal e os fatos a ele associados.

Tabela 1: A variação da posição do ponto Vernal na esfera celeste com a precessão

Aspectos relacionados	Ponto vernal γ (gama)	Ponto Ω (ômega)
Localização atual	Constelação de Peixes	Constelação de Virgem
Na Antiguidade	Constelação de Áries	Constelação de Libra ²⁶
Datas de equinócio	\approx 21 de março	\approx 23 de setembro
Movimento aparente do sol	Cruzando o equador de sul para norte	Cruzando o equador de norte para sul
Estação no hemisfério sul	Início do outono	Início da primavera
Estação no hemisfério norte	Início da primavera	Início do outono

2.2 A origem do movimento de precessão

A Terra possui um momentum angular de rotação, definido por $l = r.p$ ou $l = r.(mv)$. O momentum angular l de um corpo se conserva se o torque externo resultante for igual a zero, o que é análogo à conservação do momentum linear p quando a força externa resultante sobre um sistema é nula. Veja a analogia entre as duas grandezas na tabela 2.

Vimos que as forças gravitacionais do Sol e da Lua, sobre a Terra, provocam as marés. A origem do movimento de precessão terrestre também está relacionada à existência dessas forças gravitacionais responsáveis pelas marés. Essas forças produzem um torque N sobre a Terra porque não estão alinhadas com o plano de rotação terrestre. O efeito do torque de origem gravitacional produzido na Terra, pelo sol e pela lua, é o de alinhar o eixo de rotação da Terra com o eixo da eclíptica. Esse torque N gera um momentum angular l que é perpendicular ao momentum angular l_{rot} de rotação da Terra. Portanto, **esse torque modifica**

²⁶ O nome da constelação de Libra é uma referência à figura da balança, que traz a idéia de equilíbrio. Equinócio é uma referência ao 'equilíbrio' entre dias e noites, dado que, nas datas de equinócio, o dia e a noite duram exatamente 12 horas.

a **direção do momentum angular de rotação da Terra** e não sua intensidade. Como a Terra está em movimento, o eixo de rotação terrestre não se alinha diretamente com o eixo da eclíptica, mas precessiona em torno dele.

Um torque perpendicular em um corpo produz o efeito de variar a direção do momentum angular desse corpo, e não a sua intensidade. Isso é análogo à situação de uma força aplicada na direção perpendicular ao movimento de um corpo tem como efeito a variação na direção desse movimento, embora a intensidade da velocidade permaneça constante. (como o caso de um movimento circular uniforme).

Tabela 2: Comparação entre torque e força e seus efeitos.

Em um movimento linear	Em um movimento de rotação
$F_r = m.a$ (a variação da velocidade é no mesmo sentido da força resultante)	$N_r = F.r$ (a direção do torque N é perpendicular ao plano formado entre o raio e a força aplicada)
O efeito da força resultante é variar o momentum linear do corpo.	O efeito do torque resultante é variar o momentum angular do corpo.
$p = m.v$	$l = r.p$ ou $l = r(m.v)$
$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$	$N = \frac{\Delta l}{\Delta t}$
Se $\Delta p = 0$, então $\rightarrow F_r = 0$,	Se $\Delta l = 0$, então $\rightarrow N_r = 0$.
Quando $F_r \neq 0$, então o momentum linear varia.	Quando $N_r \neq 0$, então o momentum angular varia.
Se $F_r = 0$, $\Delta p = 0$	Se $N_r = 0$, $\Delta l = 0$.

3 Buracos Negros

Os buracos negros são estruturas cósmicas interessantes e que geralmente provocam curiosidade e estranheza. Embora nunca tenham sido vistos, pela impossibilidade imposta devido à sua própria definição, há inferências e provas indiretas da sua existência. Uma boa e simples definição para um buraco negro é a apresentada pela professora Thaisa Bergmann:

“Quando um corpo não possui mais pressão suficiente para produzir uma força para fora que contrabalance o peso de suas camadas externas, o corpo colapsa matematicamente a um ponto! Este ponto é chamado de singularidade, onde a densidade tende ao infinito. (Uma "colherada" de tal matéria conteria a massa de centenas de sóis!). O campo gravitacional é tão forte que nem mesmo a luz é capaz de escapar e por isso tal corpo é chamado de Buraco Negro” (em <http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/bn/definicao.htm>).

A figura 6 mostra esse desequilíbrio entre pressão e gravidade que origina o buraco negro. A energia produzida durante a fusão nuclear diminui e já não consegue conter o aumento da atração gravitacional.

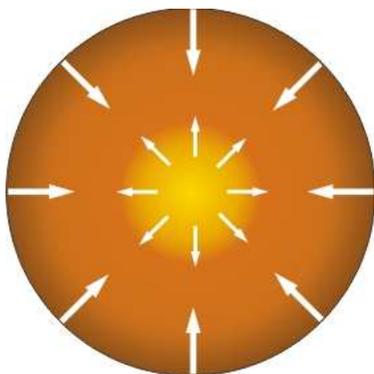


Figura 6: desequilíbrio entre pressão e gravidade na formação de um buraco negro.

Os buracos negros podem ser classificados em dois tipos principais, de acordo com sua massa: os estelares e os supermassivos.

- **Buracos negros estelares:** são aqueles originados a partir da evolução de estrelas massivas. Apresentam massas da ordem das massas estelares (massas entre 25 e 100 massas solares).
- **Buracos negros supermassivos:** encontrados nos centros das galáxias, com massas que variam de milhões a um bilhão de vezes a massa solar. Provavelmente foram

formados quando o Universo era bem mais jovem, a partir do colapso de gigantescas nuvens de gás ou de aglomerados com milhões de estrelas.

Um buraco negro estelar é, portanto, um dos possíveis fins para o ciclo de existência de uma estrela. Quando estrelas muito massivas vão se contraindo e ejetando massa, atingem um estágio em que explodem como uma supernova. Se a massa remanescente da explosão for menor que duas massas solares, a estrela será uma estrela de nêutrons, estrutura que também se caracteriza por um intenso campo gravitacional. Se a massa remanescente superar duas massas solares, a estrela converter-se-á em um buraco negro estelar. Um buraco negro é uma estrela nessa situação de colapso: seu raio encolheu tanto, elevando sua densidade a níveis infinitos, fazendo com que a gravidade próxima a essas estrelas se torne tão intensa que nem a luz escapa de sua vizinhança (Hewitt, 2002, p.168).

4 Origem e fim do Universo

A Cosmologia, entre outras coisas, se ocupa de propor teorias, apoiadas em evidências geralmente indiretas, para a origem, a evolução e o fim do Universo, se é que ele terá um fim... As possibilidades atuais, de o Universo se expandir para sempre, ou parar a expansão e reverter a um ponto único, dependerão da intensidade da atração gravitacional da matéria total existente. A hipótese aceita atualmente é de que o Universo está se expandindo e teve origem numa grande explosão (Big Bang). O astrônomo russo Friedman já previra a hipótese da expansão entre 1922 e 1924, e evidências concretas para essa teoria foram apresentadas através do trabalho de Edwin Hubble (1889-1953) em 1929. Hubble constatou que nosso Universo está atualmente num estágio de expansão, isto é, as galáxias estão afastando-se umas das outras, com velocidade proporcional à distância que as separa. A grande questão da

atualidade, da qual se ocupam os astrofísicos, é inferir se essa expansão será infinita ou se parará em algum momento, a partir do qual o Universo começaria a se contrair e rumar para um novo colapso, o Big Crunch. Pesquisas recentes apontam que a expansão do Universo é acelerada, sugerindo a existência de um tipo de ‘gravidade negativa’, que agiria no sentido de expandir, e não contrair o Universo. Os cosmólogos chamam essa grandeza de ‘energia escura’, cuja natureza não é bem conhecida. A resposta, portanto, sobre o futuro do Universo permanece em aberto, revelando que a busca pelo conhecimento e a compreensão do mundo em que vivemos é incessante e desafiadora.

Texto Complementar nº 4

Efeitos da rotação terrestre através de um exemplo concreto – a viagem de Amyr Klink.

Já falamos de Amyr Klink e de suas viagens em nosso estudo. Abaixo, vamos transcrever seu relato onde fica evidente o efeito da rotação da Terra sobre a marcação das horas para quem está viajando. O relato é extraído da obra de sua autoria, *Mar sem Fim, 360° ao redor da Antártida*. O título é uma referência à própria viagem. O famoso navegador circumnavegou a Terra no sentido da Rotação terrestre, ou seja, de oeste para leste. O efeito prático é que, a cada dia, conforme a distância percorrida, tinha de adiantar seu relógio em relação à hora oficial do Brasil na mesma proporção. Adiantar o relógio, para o navegador, significa que seu *dia* encurtava em comparação com o horário no Brasil, pois a meia-noite, para ele, acontecia cada vez mais cedo em relação à hora de Brasília. Por exemplo, se ele percorresse 5° de longitude por dia, para leste, seus dias estariam encurtando na proporção de 20 min/dia.

360° → 24 h, **então:**

15° → 1 h ou 60 min.

15° → 60 min; **então:**

1° → 4 min.

5° → 4 min x 5 = 20 min/dia

Vamos aos relatos do navegador. Nas páginas 58-59 ele fala dos seus dias encurtados:

“O progresso regular para leste logo começou a produzir mudanças nos horários e compromissos diários. Navegar na direção da rotação da Terra, para leste, engolindo uma hora (ou um fuso de quinze graus), a cada três dias, significava encurtar a duração de cada dia em vinte minutos. A cada grau para leste, encurta-se o dia em quatro minutos; a essa velocidade de deslocamento, meus dias eram menores do que os de quem vive parado em um lugar qualquer da Terra, e os compromissos – como o contato-rádio com o Brasil, sempre às vinte horas de Brasília, - foram avançando e ficando tardios no meu “dia local”. Os dias de quem anda para o nascente são menores, os de quem busca o poente, maiores. Simplesmente isso. Mas constatar fisicamente o fato, a cada dia menos vinte minutos, era um dos prazeres que eu desfrutava ao plotar a posição do dia na grande carta.”

Ainda na p. 59, segue comentando a diferença em distâncias lineares entre percorrer a Terra em latitudes baixas ou altas.

“A outra peculiaridade de uma travessia longa em latitudes altas estava na distância do trajeto total a percorrer. **Quanto mais eu descesse para o sul, para latitudes maiores,**

menor seria o trajeto [grifo nosso]. Em latitudes baixas, perto dos trópicos, a variação é pouco sensível. Aqui não. No Equador, um grau de longitude mede em distância a mesma coisa que um grau de latitude, ou seja, sessenta milhas náuticas. Na altura de casa, em Paraty, por volta da latitude 23°30'S, são necessárias 55 milhas no sentido leste-oeste pra percorrer um grau de longitude. Em 50°S, a distância a percorrer para cada grau de longitude cai para 38,6 milhas náuticas, e aos 60°S – latitude que pretendia alcançar, na metade final do Pacífico -, cada grau de longitude seria cumprido com apenas trinta milhas de navegação.”

Já nas páginas 100 a 102, narra as condições climáticas muito difíceis que enfrentou na virada do ano de 1998 para 1999.

Entrei no último dia do ano num mar ainda deformado. O barômetro completou 50 horas fora da escala e não queria subir. Santo Deus, perdi completamente a referência do que é normal. Saiu um solzinho, mais assustador ainda do que a ventania noturna.[...] Enquanto torcia para o tempo melhorar, o mar conseguiu piorar. Antes da passagem meridiana do sol – que por certo ainda existia em algum lugar -, o indicador de declinação magnética do GPS pulou de oeste para leste. O Paratii acabara de ultrapassar a longitude do pólo magnético – situação de alinhamento entre os pólos geográfico e magnético que só acontece duas vezes numa viagem circumpolar. Por coincidência, o hodômetro do mesmo GPS indicava exatamente 9 mil milhas cumpridas desde Jurumirim. Para completar a festa, logo em seguida entrei na longitude 140° E, que oficialmente considerava o fim do Oceano Índico. Festa? O fim do Índico mais parecia o fim do mundo, exatamente no fim do ano. Só não perdi a última gota de humor porque no dia anterior cruzara o antemeridiano de casa.... E agora, a cada segundo de movimento ou milha de avanço, não estaria mais me afastando, mas me aproximando de Paraty. (Jurumirim, a 44°40'W de longitude, tem seu antemeridiano em 135°20'E, exatamente do outro lado da Terra, a 180° de distância). Durante aquelas cinquenta ou sessenta horas de pancadaria, o ponto mais afastado de toda a viagem ficou pra trás. Isso não mudava a situação em completamente nada, mas constatar que a distância a percorrer era menor do que a já feita, que a metade do globo e do meu velho sonho estavam cumpridas, era, apesar do mar, do medo e do tempo, uma bruta festa. [...]

... o ano de 98 também passou. Com pôr-do-sol e lua cheia, doze horas à frente dos que estavam em casa, assisti à virada do ano sem ter muito o quê comemorar. Meu único privilégio seria entrar no ano novo antes do que todos que estavam em casa.

Klink conclui (2000, p.103), em função das péssimas condições do tempo, que “as deliberações de Ano-Novo se resumiram a uma só: escapar vivo”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DOS TEXTOS COMPLEMENTARES

BERGMANN, T. *Buracos Negros*. Disponível em:

<<http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/bn/definicao.htm>>. Acesso em 13 jul. 2007.

DASH, J. *O prêmio da longitude*. São Paulo: Cia das Letras, 2002.

KLINK, A. *Mar sem fim*. São Paulo: Cia das Letras, 2000.

MOURÃO, R.R.F. *A astronomia na época dos descobrimentos*. Rio de Janeiro: Lacerda Ed., 2000.

Animação em Gif sobre marés. Disponível em:

<http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/tide06a_450.gif>. Acesso em 14 jul. 2007.

Previsão dos horários de maré alta e maré baixa para o litoral Sul do Brasil. Disponível em:

<<http://www.cem.ufpr.br/mares.htm>>. Acesso em 14 jul. 2007

Apêndice 4

Guia de Atividades 1 –

Demonstrações práticas para a forma da Terra

Guia de atividades nº 1

Demonstrações práticas para a forma da Terra

Atividade I

Objetivo: Construir a percepção de que a forma esférica da Terra, juntamente com a altura do Sol, interfere no tamanho das sombras dos objetos, conforme varia a localização geográfica.

1. Material: Bola de isopor, luz natural, alfinetes.
2. Procedimento: Traçar um grande círculo sobre a esfera de isopor para representar o equador. Colocar alfinetes em diferentes posições latitudinais da mesma. Com a lanterna em posição fixa e alinhada com a linha da maior circunferência do isopor, projetar as sombras dos alfinetes.
3. Discussão: Em que regiões do isopor a sombra é menor? Em que regiões a sombra é maior? Por que ocorre essa variação no tamanho das sombras, se os alfinetes são do mesmo tamanho e a fonte de luz é a mesma? Considerando que a esfera de isopor represente a Terra e a lanterna o Sol, enumere quais fatores, na sua opinião, interferem para que o tamanho das sombras seja diferente de um lugar para o outro, numa mesma data.

Atividade II

Objetivo: Complementar a discussão da atividade I, destacando que a altura do Sol varia para diferentes latitudes, interferindo também no tamanho das sombras.

1. Material: Balão volumétrico redondo, preenchido com água até a metade, em cuja superfície são representadas algumas estrelas, o equador, os pólos celestes, a eclíptica.
2. Procedimento: Simular a projeção do céu para um observador no equador, depois para um observador no pólo Sul e para outro em uma latitude intermediária.
3. Para diferentes localizações na Terra (obtidas mudando o horizonte do observador, representado pela água no interior do balão), o que acontece com a altura do Sol? A altura do Sol, numa mesma data, é a mesma para todos os lugares? Por quê? A altura das estrelas visíveis (acima do horizonte) continua sendo a mesma ou varia conforme a latitude? As constelações visíveis são as mesmas para um observador no equador e outro no Pólo Sul celeste? Simular e discutir:

Questões:

No esquema da figura 1, trace a reta que representa o horizonte do lugar (uma reta tangente à superfície esférica no ponto), para alguns pontos *a*, *b*, *c*, *d* e *e* na superfície terrestre. Represente também a vertical do lugar. Prolongue a vertical do lugar até o centro da esfera, cruzando o equador. Meça o ângulo formado com um transferidor. Que coordenada esse ângulo representa?

Depois, desenhe pessoas situadas na superfície do lugar em cada ponto. Trace o vetor Peso de cada uma.

Atividade III

Acesse o endereço eletrônico a seguir:

1. <http://www.walter-fendt.de/a11e/celpoles.htm>
2. O que acontece com a altura do pólo celeste elevado (que está acima do horizonte) à medida que você varia a latitude na animação?
3. Por que a altura das estrelas muda conforme a localização geográfica?



Fig. 1: Atividade II sobre a forma da Terra

Apêndice 5

Guia de Atividades 2

A Terra em escala

Guia de atividades nº 2

A Terra em escala

A forma exageradamente elipsoidal da Terra que aparece em mapas e outros desenhos pode levar a uma noção enganosa do nosso planeta. Apesar de ser levemente achatada nas regiões polares e de ter um abaulamento equatorial, devido ao efeito dinâmico de sua rotação, essa diferença não justifica essas representações de certo modo exageradas. O Raio terrestre no equador mede 3.678 km, e nos pólos, 3.657 km. A diferença é de apenas 21 km, valor que representa 0,33% do raio equatorial.

$$\frac{6.378 - 6.357}{6.378} = \frac{21\text{km}}{6.378\text{km}} = 0,0033 \Rightarrow 0,33\%$$

Ou seja, uma diferença imperceptível na maioria das situações. No entanto, essa diferença pode ser percebida em algumas situações práticas:

- i. Ocorrem pequenas variações na intensidade do campo gravitacional na superfície, que depende do raio planetário.
- ii. À medida que você faz deslocamentos sucessivos em 1° de latitude, a partir do equador, as distâncias equivalentes em km não são rigorosamente iguais. Continuando seu deslocamento para norte (ou para sul), você perceberá que a distância necessária para elevar de 1 grau a sua latitude, ou a altura de uma estrela de referência, vai aumentando gradativamente. Isso ocorre porque a Terra vai se achatando gradualmente do equador para os pólos. A medida do arco equivalente a cada grau de deslocamento vai aumentando (varia de 110,57 km para 111,70 km do equador até o pólo) porque a Terra não é uma circunferência perfeita.

Responda:

1. Supondo que a distância média para cada grau de deslocamento em latitude corresponde a 111 km, calcule:
 - 1.1. Qual é a medida aproximada da circunferência terrestre:

Qual é a distância aproximada, em km, entre as seguintes cidades:

 - a. Porto Alegre (latitude 30°S e longitude 51°W) e Macapá (latitude 0° e longitude 51°W)?
 - b. Curitiba (latitude 25°S e longitude 49°W) e Goiânia (latitude 16°S e longitude 49°W)?
2. Se a Terra fosse uma esfera perfeita, a distância correspondente a 1 grau de latitude variaria em algum lugar da sua superfície?
3. Considere, agora, que você deseje circunavegar a Terra de leste a oeste. Vai realizar deslocamentos em longitude, realizando sua viagem aproximadamente no mesmo paralelo de latitude. Se você fizesse isso na latitude do Equador e na latitude de 60° sul²⁷, a distância percorrida em km será a mesma? Por quê? Em qual das opções seria percorrida uma distância menor? Por quê?
4. O raio da Terra no equador mede 6.378 km. O Monte Everest, a montanha mais alta do mundo, tem quase 9.000 m de altura. Já a Fossa das Marianas, a maior depressão do relevo submarino conhecida, tem 10 km de profundidade. Calcule quanto a extensão dessas duas estruturas extremas da superfície terrestre representam, em percentual, em comparação ao raio terrestre.
5. A Terra orbita o Sol com uma velocidade média de 30 km/s. Que distância ela percorre em cada um dos seguintes intervalos de tempo?

a. Um segundo?	d. Um mês?
b. Um minuto?	e. Um ano?
c. Uma hora?	

²⁷ Amir Klink circunavegou a Terra com seu barco Paratii nessa latitude entre o final de 1998 e início de 1999. Relato no livro de sua autoria, **Mar sem Fim, 360° ao redor da Antártida**.

6. Calcule a distância que a luz percorre em um ano (chamada de um *ano-luz*).
7. Você já sabe que a Unidade Astronômica (UA) é uma unidade de medida equivalente à distância média da Terra ao Sol. Ela vale 150.000.000 km. No exercício 8, você calculou a medida de um ano-luz em quilômetros. Compare essas duas distâncias e responda:
 - 7.1. Qual unidade é maior: o ano-luz ou a UA? Fundamente a sua resposta, calculando quanto vale um ano-luz em Unidades Astronômicas.
8. O que significa dizer que uma estrela se encontra a 10 anos-luz da Terra? A 'imagem' dessa estrela que vemos a partir da Terra corresponde ao seu aspecto atual ou passado? Por quê?

Apêndice 6

Guia de Atividades 3
Campos e forças gravitacionais

Guia de Atividades n° 3
Campos gravitacionais. Lei da gravitação Universal

Campo gravitacional da Terra e suas variações

1ª atividade:

1.1. Qualquer corpo situado na superfície da Terra é atraído gravitacionalmente por ela (peso do corpo). Isso também vale para os demais astros do Sistema Solar e do Universo. Porém, à medida que nos afastamos da Terra, a interação gravitacional ainda continua existindo. Você pensa que a intensidade da força gravitacional da Terra sobre outros corpos aumenta ou diminui, à medida que esses se afastam do planeta? Em que proporção varia a força gravitacional entre dois corpos, à medida que aumenta a distância entre eles?

1.2. O que acontece com o valor de g à medida que nos afastamos da Terra? Estime qual é valor de g para as altitudes equivalentes às órbitas da ISS ($h = 400$ km) e de um satélite geostacionário ($h = 36.000$ km). **Atividade com planilha de cálculo eletrônica**

2ª atividade:

2. Realize a atividade sobre o campo gravitacional terrestre (em planilha excel) e analise como esse varia com a altitude. Observe até que valores de altitude tais variações são desprezíveis. Determine também a partir de que altitudes, em relação à superfície terrestre, a intensidade do campo gravitacional varia significativamente.

3ª atividade:

3.1. Você dispõe de duas esferas de igual tamanho, uma feita de madeira, e a outra de chumbo. Você está segurando uma em cada mão, à mesma altura a partir do chão, e as solta em um mesmo tempo. Qual delas atingirá o chão primeiro, se você ignorar a resistência do ar?

- a. Aquela feita de madeira
- b. Aquela feita de chumbo
- c. Nenhuma, pois ambas tocam o chão no mesmo momento.

3.2. A aceleração adquirida por um corpo é proporcional à razão entre a força exercida e a massa do corpo. Suponha que você aplique uma determinada força a uma bola de tênis. Você obtém, então, certa aceleração. Depois você pega duas bolas de tênis, idênticas e juntas em contato, e aplica a mesma força. Como você imagina que a aceleração produzida agora se compara àquela que você obteve com uma bola apenas?

- a. Será a mesma.
- b. Será duas vezes maior.
- c. Será duas vezes menor.

3.3. A aceleração adquirida por um corpo é proporcional à razão entre a força exercida e a massa do corpo. Suponha que você aplique determinada força a uma bola de tênis. Você mede, então uma certa aceleração. Depois você aplica três vezes mais força sobre a mesma bola. Comparando essa situação com a primeira, você espera que a nova aceleração seja

- a. a mesma.
- b. três vezes maior.
- c. três vezes menor.

Campos gravitacionais nos demais planetas e na lua.

4ª atividade:

- 4.1. Através de planilha Excel, estimar g nos outros planetas (planilha 2).
- 4.2. Estimar o próprio peso nos principais astros do Sistema Solar. Planilha de cálculo n° 2.

5ª atividade:

Resolva os problemas 5.1, 5.2 e 5.3 a partir dos dados fornecidos na tabela 1.

- 5.1. Calcule a intensidade da força gravitacional entre a Terra e a Lua.

5.2. Calcule a intensidade da força gravitacional entre a Terra e o Sol.

5.3. Assuma que a massa de Alfa-Centauri, a estrela mais próxima da Terra, é igual à massa do Sol. Sua distância da Terra é de 4,22 anos-luz. Estime se a força gravitacional entre a Terra e α -Centauri é maior ou menor do que a força gravitacional entre a Terra e o Sol, que você acabou de calcular.

5.3.1. Agora, calcule a intensidade da força gravitacional entre a Terra e Alfa-Centauri, e avalie se a sua previsão anterior está correta. As distâncias devem estar em m ($1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$).

Tabela 1: massas e raios orbitais para a Terra, Sol, Lua e α -Centauri

	Terra	Sol	Lua	α -Centauri
Massa (kg)	$\cong 6 \times 10^{24}$	$\cong 2 \times 10^{30}$	$\cong 7 \times 10^{22}$	Igual à massa do Sol
Distância a partir Terra (em metros)		150.000.000.000 m	384.000.000 m	4,22 AL ou $4 \times 10^{16} \text{ m}$

Apêndice 7

Guia de Atividades 4
Rotação Terrestre

Guia atividades n° 4

ATIVIDADES SOBRE A ROTAÇÃO TERRESTRE

Fusos Horários

1. Por que as horas são diferentes em lugares diferentes do nosso planeta? A hora de um local sofre influência da latitude? E da longitude? Comente:
2. Quando viajamos de leste para oeste, temos de adiantar ou atrasar nosso relógio no ponto de chegada? E quando viajamos em sentido contrário? Justifique suas respostas:
3. Paris e Nova Iorque têm seis horas de diferença de fuso horário. A viagem de uma a outra dura 4,5 h (em um Concorde²⁸). Se um passageiro sair de Paris às 22 horas, a que horas chegará em Nova Iorque, pelo fuso da cidade americana?
4. O meio-dia local em qualquer ponto da superfície da Terra ocorre quando o Sol encontra-se exatamente sobre o meridiano que passa por aquele ponto da superfície. É o momento de maior altura do sol para qualquer dia do ano. A sombra de um objeto nesse momento projeta-se exatamente na direção Norte-Sul, demarcando a linha meridiana para aquele local. Qual será o horário no meridiano oposto a esse do meio-dia?

Dias e Noites

5. Identificação de pontos terrestres nos quais é dia e noite. Interatividade com site da web que permite a observação da Terra.

Instruções:

- ✚ Nessa atividade, você vai observar e interagir com imagens de satélite de nosso planeta através do seguinte endereço eletrônico: <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth/>
- ✚ Você pode variar os seguintes parâmetros:
 - a. **altitude** (a partir de que distância da Terra é a sua ‘visão’); sugerimos a opção “*From Sun*”, isto é, vista a partir do Sol.
 - b. **localização geográfica** do ponto que você quer observar: você tem a opção de ajustar as latitudes e longitudes, digitando os valores e selecionando N, S, E ou W. O que você vê é a imagem da Terra como vista a partir do zênite nessas coordenadas, ou seja, uma visão exatamente de cima para a localização considerada.
 - c. **horário da observação**: pode optar entre tempo real (*real time – now*) ou tempo universal (TCU), para a data escolhida. Sugerimos o tempo universal (TCU), para que sua observação de diferentes pontos ocorra sempre num horário padrão.
 - d. **Data da observação**: você pode digitar outras datas para observar o mesmo ponto da Terra em outra época do ano. Sugerimos que realize as observações para as datas elencadas na Tabela 1.

Realização da coleta de dados a partir do site:

- 6.1. Faça observações do globo terrestre no endereço eletrônico acima para as localizações e as datas sugeridas na tabela 1. Nessa mesma tabela, registre se é dia ou noite no local e na data de observação.

Tabela 1: Coleta de dados sobre dias e noites para diferentes datas do ano e para diferentes localizações na Terra.

²⁸ Avião supersônico franco-britânico, desativado em 2004 devido aos altos custos operacionais.

LOCALIZAÇÃO		Data			
Latitu de	Longitu de	21.03. 06	21.06.06	23.09. 06	21.12.06
0°	60° E (east)				
30° N	60° E (east)				
30° S	60° E (east)				
45°N	60° E (east)				
45°S	60° E (east)				
60° N	60° E (east)				
60°S	60° E (east)				
90°N	60° E (east)				
90°S	60° E (east)				

6.2. Analise as imagens e seus registros para datas iguais e responda:

- No momento em que é noite em uma Latitude Sul, é dia ou noite na mesma latitude ao norte?
- Para cidades numa mesma longitude, seria de esperar que a duração do dia e a da noite fosse igual? Por quê?
- Ou seja, ao longo de um mesmo meridiano deveria ser noite, ou dia, para todos os lugares?
- Por que isso não ocorre?
- Onde (em quais latitudes) é mais acentuada a diferença de duração dos dias e das noites?

6.3. Você vai completar a tabela 2 a partir da análise dos dados registrados na tabela 1. Portanto, analise e responda: para uma mesma data e uma mesma longitude (tabela abaixo), em que latitudes é dia? Em que latitudes é noite? Registre suas respostas na tabela 2.

Tabela 2: Organização dos dados coletados na tabela 1.

Data	Longitude	Em que latitudes é dia?	Em que latitudes é noite?
21 de março			
21 de junho			
23 de setembro			
21 de dezembro			

6.4. Com o levantamento que você realizou, concluímos que, em determinadas épocas do ano, no mesmo momento em que é dia numa determinada latitude a norte, pode ser noite na mesma latitude, agora a sul. Isso é mais acentuado para latitudes mais elevadas. Nessas circunstâncias, concluímos que a duração dos dias e das noites, numa mesma data, nem sempre é a mesma para os hemisférios Norte e Sul. Por que isso ocorre?

Pêndulo de Foucault:

7. Na animação aqui sugerida, você vai ver como Foucault provou que a Terra está em rotação usando um pêndulo.

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html>

Movimento aparente dos astros:

8. Por que as estrelas parecem se mover através do céu? Em que direção e sentido se movem?

9. Vamos observar o movimento dos astros no céu durante um dia através do software Cybersky. Vamos “olhar” e analisar em diferentes direções do céu: para o norte, para o leste, etc.

Instruções:

- ✚ Na opção *Set Location* do menu, confirme se a localidade de referência selecionada é Lajeado.
- ✚ Escolha uma das orientações para começar: E (leste), W (oeste), N (norte) ou S (sul). Clique no botão *Play Forward*, para iniciar a animação. Observe em que sentido se movimentam as estrelas quando você olha para o céu nessa direção.
- ✚ Pare a animação clicando o botão *Stop*.
- ✚ Altere a direção geográfica para a qual você está olhando, clicando sobre a letra correspondente. Reinicie a animação e observe novamente em que sentido estão se movimentando as estrelas.

Apêndice 8

Guia de Atividades 5

Estações do ano, translação e leis de Kepler

Guia atividades n° 5

ESTAÇÕES DO ANO E OUTROS FENÔMENOS ASSOCIADOS

1. Sabemos que a duração dos dias (as horas de sol ou fotoperíodo) não é a mesma ao longo do ano. Você sabe se há algum dia no ano em que o dia e a noite têm exatamente a mesma duração (12 horas de sol)?
 - a. não há um dia com essa característica
 - b. um dia. Qual? _____
 - c. dois dias. Quais? _____
 - d. outra resposta: _____

2. O dia mais curto do ano, e o dia mais longo do ano, para o hemisfério Sul, respectivamente, ocorrem em datas próximas a:
 - a. 21 de março e 21 de dezembro
 - b. 21 de junho e 23 de setembro
 - c. 21 de dezembro e 21 de junho
 - d. 21 de junho e 22 de dezembro
 - e. 21 de março e 23 de setembro

3. O que você pensa que ocorre com a duração dos dias (com a quantidade de horas nas quais temos luz solar) *durante* a primavera até o solstício de verão:
 - a. aumentam b. diminuem c. permanecem igual d. outra opção: _____

4. O que você pensa que ocorre com a duração dos dias (com a quantidade de horas nas quais temos luz solar) *durante* o verão até o equinócio de outono:
 - a. aumentam b. diminuem c. permanecem igual d. outra opção: _____

5. Na sua opinião, qual é a causa mais importante para o fato de que no verão os dias são mais longos do que no inverno?
 - a. Deve-se ao fato de que a órbita da Terra não é uma circunferência, é uma elipse.
 - b. Deve-se à inclinação do eixo de rotação da Terra.
 - c. Deve-se ao fato de que no verão a Terra está mais próxima do Sol.
 - d. Deve-se a fenômenos atmosféricos.

6. Na sua opinião, em que regiões terrestres há maior diferença na duração dos dias e das noites entre o verão e o inverno?
 - a. na região equatorial b. nas regiões temperadas c. nas regiões polares

7. Para ocorrer um eclipse do Sol, a Lua deve estar na fase:
 - a. nova b. crescente c. cheia d. minguante

8. Para haver um eclipse lunar, a Lua deve estar na fase e o alinhamento dos astros envolvidos é, respectivamente:
 - a. nova; Sol-Lua-Terra
 - b. cheia; Sol-Lua-Terra
 - c. cheia; Sol-Terra-Lua
 - d. cheia; Terra-Sol-Lua
 - e. nova; sol-Terra-Lua

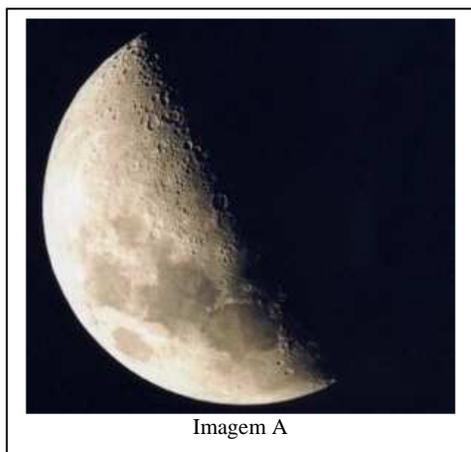
9. Aproximadamente quanto tempo a Lua gasta, vista da Terra, para realizar uma volta completa (ou para se mover completamente ao redor) entre as estrelas do zodíaco?
 - a. um dia b. uma semana c. um mês d. um ano

10. Os dias e as noites ocorrem por que:

- a. A Terra orbita em torno do Sol e também gira ao redor de si mesma, ficando sempre com metade iluminada e metade no escuro, a cada 24 horas.
- b. a Terra orbita em torno do Sol em 24 horas,.
- c. A Terra gira sobre si mesma e está localizada entre o Sol e a Lua, um de cada lado; quando se vê o Sol é dia, quando se vê a Lua é noite.
- d. A Terra está parada e localizada no meio do Sol e da Lua, que girar ao redor dela em 24 horas; por isso, se vê o Sol de dia e a Lua à noite.
- e. A Lua esconde o Sol e por isso escurece.
- f. O Sol é escondido pela sombra da Lua sobre a Terra.

11. As imagens dessa questão mostram como a Lua aparece no céu uma certa noite, e como aparece algumas noites depois. Qual dos fatores abaixo, na sua opinião, melhor descreve a mudança de aparência da Lua:

- a. a Lua se move dentro da sombra da Terra.
- b. a Lua se move dentro da sombra do Sol.
- c. A Lua é escura em um lado, branca no outro, e gira.
- d. a Lua se move ao redor da Terra.



- 11.1. Considerando a Lua como vista a partir do hemisfério Sul, em que fase ela está na imagem A?
 11.2. Em que fase está a Lua na imagem B, segundo a mesma perspectiva?

12. Os dias e as noites ocorrem por que:

- a. A Terra orbita em torno do Sol e também gira ao redor de si mesma, ficando sempre com metade iluminada e metade no escuro, a cada 24 horas.
- b. A Terra orbita em torno do Sol em 24 horas,.
- c. A Terra gira sobre si mesma e está localizada entre o Sol e a Lua, um de cada lado; quando se vê o Sol é dia, quando se vê a Lua é noite.
- d. A Terra está parada e localizada no meio do Sol e da Lua, que girar ao redor dela em 24 horas; por isso, se vê o Sol de dia e a Lua à noite.
- e. A Lua esconde o Sol e por isso escurece.
- f. O Sol é escondido pela sombra da Lua sobre a Terra.

13. As estações do ano acontecem por que:

- a. A Terra tem movimento de translação ao redor do Sol, com uma órbita levemente elíptica e seu eixo de rotação está inclinado em relação ao eixo de sua órbita.
- b. A Terra tem movimento de translação ao redor do Sol, com uma órbita bastante elíptica; as estações ocorrem por que muda a distância entre a Terra e o Sol durante um ano.
- c. A Terra tem movimento de translação ao redor do Sol, com uma órbita levemente elíptica.
- d. O eixo de rotação terrestre está inclinado com relação ao eixo de sua órbita em torno do Sol;

e. A distância da Terra ao Sol muda conforme a localização geográfica de um lugar sobre a superfície terrestre.

14. As fases da Lua ocorrem por que:

a. a Lua, que é iluminada parcialmente pelo Sol, orbita a Terra. Ao variar sua posição durante o movimento orbital, a relação luz-escuridão que pode ser vista aqui da Terra varia e essa variação produz as fases da lua.

b. A Terra projeta sombra sobre a Lua, produzindo a parte escura das fases.

c. O Sol ilumina a Terra, e esta, por reflexão, ilumina a lua, produzindo a parte iluminada das fases.

d. A Lua orbita o Sol e as fases ocorrem porque o Sol eclipsa a Lua.

e. A Lua orbita o Sol e as fases ocorrem por que, a partir da Terra, vemos a Lua se movimentando em torno do Sol.

15. Abaixo, está a reprodução da figura 15 do Texto de Apoio – parte 2. Represente pessoas em cada um dos pontos da superfície terrestre: A, B, C e D. Responda:

15.1 Em qual dos pontos da superfície um observador medirá maior altura para o Sol? Por quê?

15.2 Para qual dos observadores o Sol estará a pino?

15.3 Estime qual é a altura com que o Sol está atingindo cada um dos pontos da superfície. Se necessário, use um transferidor.

15.4 Em qual dos pontos da superfície um observador medirá menor altura para o Sol?

15.5 Por que a altura do Sol interfere nas temperaturas médias nos diferentes pontos do planeta?

15.6 Em quais pontos da figura 15 você supõe que sejam atingidas as temperaturas médias mais elevadas? Por quê?

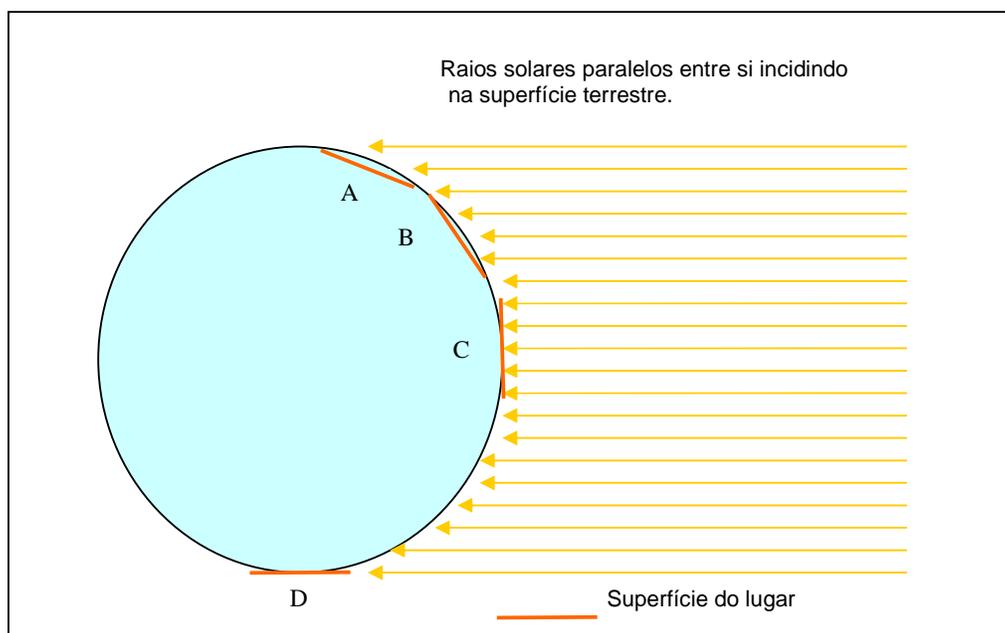
15.7 Em quais pontos da figura você avalia que ocorram as temperaturas mínimas? Justifique.

15.8 Em quais das regiões representadas as temperaturas sofrem a menor variação? Relacione sua resposta à ocorrência das estações nessa região.

15.9 Em quais das regiões representadas as temperaturas variam mais?

Analisar a Tabela 5 do Texto de Apoio. Em que dia do ano a Terra está em uma posição orbital semelhante à da figura 15? Esse é um dia de solstício ou de equinócio?

16. Quais são as duas datas do ano que o Sol nasce exatamente a Leste e se põe a oeste?



Movimento orbital da Terra

1. Quando a Terra está no ponto de sua órbita em que o Pólo Sul atinge inclinação máxima na direção do Sol, os raios solares atingem **perpendicularmente** a Terra na latitude de 23,5° S. Qual é o nome da linha que circunda o globo nessa latitude? Qual é a altura do Sol nesse ponto, para essa situação? Consulte um mapa e indique uma cidade brasileira que está nessa latitude. Em que data isso está ocorrendo? Que estação está iniciando no Hemisfério Sul? E no hemisfério Norte?

2. Acesse os seguintes endereços eletrônicos. Execute a primeira animação para diferentes planetas e responda:

2.1. <http://www.walter-fendt.de/ph11e/keplerlaw2.htm>

a. Quais são as órbitas mais elípticas? As de maior ou menor excentricidade?

b. Quando cada planeta atinge a maior velocidade orbital?

c. Onde cada planeta atinge a maior velocidade orbital?

2.2. No applet do endereço abaixo, você pode selecionar o percentual de área que será representado enquanto roda a animação. <http://astro.if.ufrgs.br/Orbit/orbit2.htm>

Parâmetros observados	Planetas				
	Mercúrio	Terra	Marte	Urano	Plutão
Excentricidade e da órbita (quão elíptica ela é)					
Velocidade máxima					
Velocidade mínima					
Raio orbital médio (em UA)					

3. No próximo endereço, você poderá optar entre órbitas de excentricidades diferentes e observar a velocidade orbital e a área percorrida por unidade de tempo.

http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/morekep.html

3.1. Em qual (is) das órbitas a velocidade de translação é constante? Por quê?

3.2. Em qual das órbitas a velocidade sofre maior variação entre o afélio e o periélio?

3.3. Em qual modelo de órbita os triângulos que representam a área percorrida em função do tempo são sempre iguais?

Apêndice 9

Atividades práticas sobre leis de Newton

**Colégio Estadual Presidente Castelo Branco –
Dinâmica – movimentos e suas causas**

NOME: _____ n°: _____
TURMA: _____ PROFESSORA: Sônia Elisa Marchi Gonzatti

PRÁTICA DE LABORATÓRIO

Atividade 1: Cubra um copo com um cartão de papel duro. Apóie uma moeda sobre esse cartão. Puxe o cartão devagar.

- 1.1. Anote o que acontece com a moeda.
- 1.2. Agora, puxe o cartão rapidamente. O que acontece com a moeda?
- 1.3. O comportamento da moeda nas duas situações é o mesmo ou é diferente? Por quê?
- 1.4. Em cada situação, compare se o atrito entre a moeda e o cartão foi maior ou menor do que a força que puxou o cartão? Justifique seu raciocínio:

Atividade 2: Fixe uma seringa de 5 ml, sem o êmbolo, sobre o orifício de um CD (*compact disk*), de modo que a extremidade da agulha fique para cima. Use massa de modelar ou durepóxi para isso. Encha um balão e acople-o à extremidade que ficou livre. Coloque essa montagem sobre uma mesa bem lisa e limpa. Descreva o que acontece.

Responda:

- 2.1. Que tipo de movimento o disco com o balão descreve?
- 2.2. Há alguma força sendo aplicada no disco na direção horizontal? Argumente:
- 2.3. Por que o disco se movimenta?
- 2.4. Que lei ou propriedade física explica o movimento do disco sobre a mesa?
- 2.5. Porque é importante que a mesa seja bem lisa?
- 2.6. Como Aristóteles explicaria o movimento do disco sobre a mesa?
- 2.7. Como Galileu ou Newton explicariam o mesmo movimento?
- 2.8. Na sua opinião, quem deles está descrevendo corretamente o movimento do disco sobre a mesa?

Atividade 3: observe um dinamômetro.

Anote a menor divisão na escala em que ele está graduado.

Observe e anote em que unidade de medida está a escala do dinamômetro.

Por que é possível medir o peso dos objetos com esse instrumento?

Um objeto em repouso, suspenso em um dinamômetro, está em equilíbrio. Por quê? Qual é a força resultante sobre o objeto? Quais são as forças aplicadas ao objeto? Faça um diagrama de forças para a situação. Justifique seus raciocínios.

Apêndice 10

Instrumento para coleta de dados sobre fenômenos astronômicos

Se julgar necessário, complemente seu desenho com explicações por escrito.

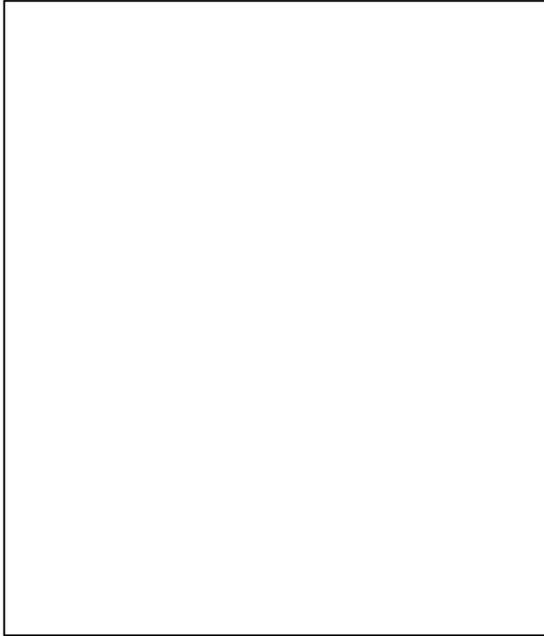
Quadro 1: Faça um desenho que, na sua opinião, explique a ocorrência de dias e noites.



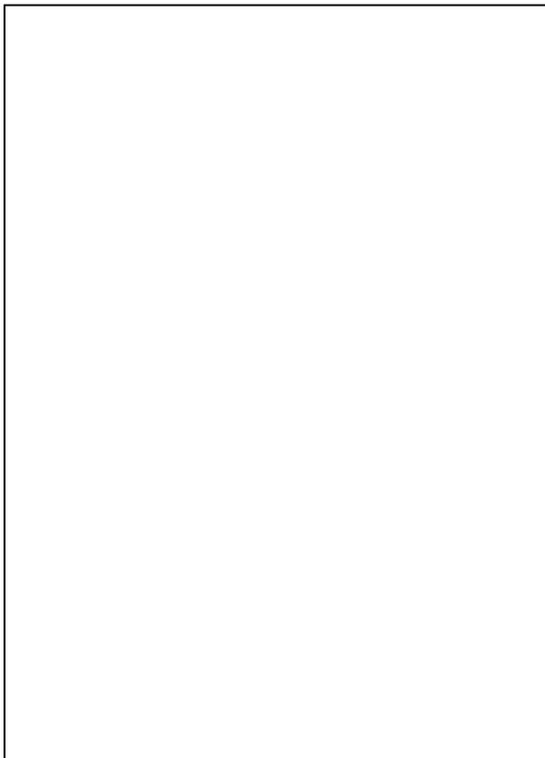
Quadro 2: Faça um desenho que, na sua opinião, explique a ocorrência das estações do ano:



Quadro 3: Faça um desenho que demonstre porque a lua muda sua aparência durante um mês. Desenhe pelo menos uma dessas aparências (fases):



Quadro 4: Faça um desenho explicando o porquê da ocorrência de um eclipse solar, como o observado na região sul em 22 de setembro de 2006.



Apêndice 11

Trabalho Extra-classe 1:
Terra estática ou em movimento?

Unidade II – ASTRONOMIA

Trabalho extra-classe n° 1

Terra estática ou em movimento?

Tipo de trabalho: Seminário de debate de idéias, precedido de leituras de apoio e pesquisa bibliográfica.

Assunto: Sistemas geocêntrico e heliocêntrico.

Dinâmica do trabalho: Pesquisa em grupos de até quatro alunos. Relato nos cadernos individuais. Apresentação e discussão em aula. Realização das leituras e anotações em horário extra-classe.
Data do seminário: 18 de dezembro de 2006

Aspectos a serem pesquisados e relatados, por escrito e nos cadernos de Física.

1. Modelo geocêntrico:

Características principais desse modelo, como descrito por Ptolomeu. Breve biografia de Ptolomeu. Sua obra principal

Outros defensores do modelo geocêntrico.

Definir se atribuíam ou não algum movimento para a Terra (estática ou dinâmica)

Argumentos favoráveis e contrários ao modelo geocêntrico, à época em que foi estabelecido.

2. Modelo heliocêntrico:

O modelo de Nicolau Copérnico. Características principais. Breve biografia de Copérnico. Sua obra principal.

Argumentos favoráveis e contrários ao modelo heliocêntrico de Copérnico, à época em que seu trabalho foi publicado e posteriormente difundido.

Como Galileu contribuiu para a consolidação do modelo heliocêntrico. Argumentos físicos; episódios. A obra de Galileu: **Diálogos sobre os dois grandes sistemas do mundo (1632)**.

O modelo heliocêntrico de Kepler. Características principais. Breve biografia desse astrônomo. Sua obra.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA:

*ASTRONOMIA E ASTROFISICA, M^a Fátima O. Saraiva e Kepler de Oliveira F^o, Ed. Livraria da Física. pg. 49-51

*ORIGENS E EVOLUÇÃO DAS IDEIAS DA FISICA, José Fernando Rocha (org.), EDUFBA. pg. 69-75

*OS GRANDES EXPERIMENTOS CIENTIFICOS, Michel Rival. Jorge Zahar Editor. pg. 34-36.

*LIVRO DE OURO DO UNIVERSO, Ronaldo R. F. Mourão. Ediouro. Pg. 94-97 e pg. 98-103.

*PENSO, LOGO ME ENGANO. Jean_Pierre Lentin. Ed. Atica. Cap. 3, pg. 49-62 e cap. 4, pg. 63-78

FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA, Romildo Povoá Faria. Papyrus. Cap. 1, pg. 24-35.

*FISICA, vol. 1 ou vol. Único. Beatriz Alvarenga. Scipione.

Seção II do Texto de Apoio: A Terra como corpo cósmico. Prof^a Sonia Elisa Marchi Gonzatti.

Apêndice 12

Trabalho Extra-classe 2:
Constituição do Sistema Solar

Unidade II – ASTRONOMIA

Trabalho Extra-classe nº 2 - Sistema Solar

Itens obrigatórios no relatório do trabalho:

- I - Introdução
- II - Desenvolvimento – contemplar os itens sugeridos no roteiro.
- III – Conclusão
- IV - Referências Bibliográficas.

Itens obrigatórios no seminário de apresentação:

No mínimo um cartaz ou painel para apresentar os planetas; no mínimo um cartaz ou painel sobre o Sol; produção de uma maquete como sugestão.

Data do seminário: 26 de dezembro, 2h/aula.

1. Sobre o Sol:

- Estrutura do Sol – principais camadas que o compõem;
- Dimensões do Sol – massa, raio.
- Temperatura do sol no seu núcleo e na superfície
- Período médio de rotação no equador solar.
- Origem da energia solar
- O que é o vento solar.
- Manchas solares.
- Atividade magnética do Sol e seus efeitos.

2. Sobre os planetas, em caráter geral:

- Diferenciar e classificar quais são os planetas gasosos e quais são os rochosos.
- Diferenciar e apresentar características dos planetas terrestres e jovianos (gigantes) quanto ao tamanho e ao número de satélites.
- Apresentar os planetas em ordem de distância a partir do Sol. Usar, nesse item, no mínimo um desenho ou figura.

Explicar o que é uma UNIDADE ASTRONOMICA. Apresentar as distâncias de todos os planetas até o Sol em UA's e em Km. Sugestão: Utilizar a Tabela 1.

3. Sobre cada um dos nove planetas, individualmente:

- Principais características de cada planeta (coloração, atmosfera, temperatura média, gravidade na superfície, etc).
- Período de duração do dia (rotação planetária), em dias terrestres ou em horas e minutos. Período orbital (duração do ano, ou seja, de uma translação completa em torno do Sol) em dias terrestres.
- Dimensões principais: massa (em Kg); raio (em km);
- Inclinação do eixo de rotação planetário em relação ao plano orbital planetário.
- Informar o número de satélites conhecidos. Citar os principais.
- Outras curiosidades envolvendo os planetas. Ênfase às missões espaciais.

Tabela 1: Atividade 2.4.

DISTÂNCIA MÉDIA DO SOL

PLANETA	Em Unidades Astronômicas	Em km
Mercúrio		
Vênus		
Terra		
Marte		
Júpiter		
Saturno		

Urano

Netuno

Plutão

4. Outros astros do sistema Solar:

Caracterizar e descrever o que são e como são constituídos:

asteróides

meteoros

meteoritos

cometas

Relatos de impactos de meteoritos na superfície terrestre (O caso de Putinga, RS)

Bibliografia indicada:

Sites: <http://astro.if.ufrgs.br> www.spaceweather.com

ASTRONOMIA E ASTROFISICA, M^a Fátima O. Saraiva e Kepler de Oliveira F^o, Ed. Livraria da Física.

LIVRO DE OURO DO UNIVERSO, Ronaldo R. F. Mourão. Ediouro.

DECIFRANDO A TERRA, Wilson Teixeira e outros. Oficina de Textos.

COSMOS, Carl Sagan. Ed. Francisco Alves.

FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA, Romildo Povia Faria. Papirus.