



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA

Adriano Luiz Fagundes

**Visualização de fenômenos astronômicos básicos mediada por recursos
visuais didáticos**

FLORIANÓPOLIS

2019

Adriano Luiz Fagundes

**Visualização de fenômenos astronômicos básicos mediada por recursos
visuais didáticos**

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em
Educação Científica e Tecnológica da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do título
de Doutor em Educação Científica e Tecnológica
Orientadora: Profa. Dra. Tatiana da Silva

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fagundes, Adriano Luiz
Visualização de fenômenos astronômicos básicos mediada por
recursos visuais didáticos / Adriano Luiz Fagundes ;
orientadora, Tatiana da Silva, 2019.
210 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas,
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Visualização. 3.
Ensino de Astronomia. 4. Avaliação de aprendizagem. I. da
Silva, Tatiana. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e
Tecnológica. III. Título.

Adriano Luiz Fagundes

Visualização de fenômenos astronômicos básicos mediada por recursos visuais
didáticos

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa., Dra. Marta Feijó Barroso

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profa., Dra. Sonia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Abílio Mateus Junior

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de doutor em Educação Científica e
Tecnológica.

Prof. Dr. Fábio Peres Gonçalves

Subcoordenador do Programa de Pós Graduação em Educação Científica e
Tecnológica

Profa. Dra. Tatiana da Silva

Orientadora

Florianópolis, 26 de novembro de 2019.

Este trabalho é dedicado aos meus pais e à minha querida avó Maria Pereira Fagundes.

AGRADECIMENTOS

Nos quatro anos dedicados a esta pesquisa foram muitas as pessoas que me apoiaram direta ou indiretamente de alguma forma. Quero deixar expressos os meus agradecimentos:

- À minha companheira Bárbara por todo o apoio, suporte e paciência durante esses 4 anos.
- Aos meus pais, padrinhos, sogros, irmãos, primos, cunhadas, gostaria de registrar um agradecimento especial pelo suporte fundamental durante esse período.
- À professora Tatiana da Silva, minha orientadora, pela atenção, cuidado e dedicação constante ao meu processo de formação acadêmica durante os 2+4 anos de convívio na pós-graduação. Espero que essa parceria continue por muitos anos.
- À professora Marta Feijó Barroso pelas contribuições/orientações e pelo apoio constante durante a realização desta pesquisa, sem o qual esse trabalho não seria possível.
- Aos professores Abílio e Sonia pelas contribuições/orientações na qualificação e na defesa deste trabalho.
- À Filomena Luís (Filó) pela contribuição ao trabalho.
- Aos colegas, técnicos e professores do PPGECT por todos os momentos compartilhados e pelas diversas contribuições que acabaram contribuindo de alguma forma para a realização deste trabalho.
- Ao Gustavo Rubini pelo apoio durante a coleta de dados.
- Aos amigos que de uma forma direta ou indireta auxiliaram na elaboração deste trabalho.
- À CAPES pelo apoio financeiro durante os 4 anos de estudos e pesquisa.

Visualizar com olhos de quem vê exige cientificar esse mesmo olhar. Avaliar e validar resultados exige assertividade e rigor. Filomena Luís, 2019.

RESUMO

Neste trabalho investigamos a visualização interpretativa de estudantes do ensino superior sobre fenômenos astronômicos básicos através das representações visuais que os mesmos elaboram em avaliações de uma disciplina introdutória de Física. O ambiente educacional em questão envolve estudos autônomos com o uso de recursos visuais como mediadores da aprendizagem. A análise realizada corresponde a um período de 6 anos consecutivos e contou com uma amostra de mais de 1200 estudantes. Procuramos comparar as representações apresentadas pelos estudantes antes e após o período de estudos com os materiais propostos de modo a inferir se houve evolução na visualização sobre os fenômenos estudados. Como a visualização é um tema central no trabalho adotamos como referências teóricas pesquisas que discutem o seu papel no ensino das ciências, bem como, pesquisas no campo da Educação em Astronomia as quais apontam algumas das dificuldades de aprendizagem intrínsecas à essa área do conhecimento. Esses referenciais nos levam a destacar alguns tipos de representações visuais os quais estão associados às mudanças de perspectivas assumidas como essenciais para a visualização tanto dos movimentos e das fases lunares quanto das estações do ano, os fenômenos que foram considerados no recorte desta pesquisa. Os resultados encontrados mostram que os estudantes inicialmente possuem dificuldades: de explicar porque veem a mesma face lunar a partir da Terra indicando transitar incorretamente entre diferentes pontos de vista; de explicar as fases lunares a partir de duas perspectivas essenciais para a visualização do fenômeno; de associar a explicação das estações do ano com o formato adotado para a órbita terrestre. Encontramos muitos casos que demonstram superar essas dificuldades iniciais e indicam evolução na visualização desses fenômenos após os estudos com os recursos visuais propostos no ambiente educacional. No entanto, os resultados revelam que algumas dificuldades específicas associadas à visualização de cada tema avaliado se mostram bastante resistentes à proposta da disciplina, fazendo com que a maioria dos estudantes ainda apresentem alguma dificuldade de interpretação desses tópicos nas avaliações finais.

Palavras-chave: Visualização. Ensino de Astronomia. Avaliação de aprendizagem.

ABSTRACT

In this work we investigate the interpretative visualization of higher education students about basic astronomical phenomena through the visual representations that they elaborate in evaluations of a physics introductory discipline. The educational environment in question involves autonomous studies where visual resources mediate learning. An analysis carried out corresponds to a period of 6 consecutive years and included a sample of more than 1200 students. We tried to compare the representations used by the students before and after the study period with proposed materials in order to infer if there was evolution in the answers about the studied phenomena. As visualization is a central theme in the work, we adopted as theoretical references research that analyzes its role in science education, as well, research in the field of Astronomy Education which pointed out some of the learning intrinsic difficulties about this area of knowledge. These references lead us to highlight some types of visual representations which are associated with changes in perspectives assumed as essential for the visualization of both lunar movements and phases, as well as the seasons, the phenomena that were considered in this study. The results show that students initially have difficulty: of explaining why they see the same lunar face from Earth which indicate a moving incorrectly between different points of view; of explaining lunar phases from two essential perspectives; and associate the explanation of the seasons with the format adopted for earth's orbit. We found many cases that indicate overcoming these initial difficulties and visualize these phenomena after studies with the proposed visual resources in the educational environment. However, we found that some specific difficulties associated with the visualization of each subject evaluated are quite resistant to the course proposal, making most students still have some difficulty in interpreting these topics in the final evaluations.

Keywords: Visualization. Astronomy Education. Learning assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A relação entre representação, modelo e visualização.....	33
Figura 2 - Questão da IV OBA sobre o formato da órbita terrestre. A primeira figura da esquerda para direita que está pintada em azul claro é a que contém as respostas corretas aos itens “a)” e “b)”, o ponto representa a correta localização do Sol.....	47
Figura 3 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) ilustra quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.....	50
Figura 4 - Um modelo (visual) curricular (fora de escala de distância) ilustra de outra perspectiva que o plano orbital da Lua (tracejado) possui um ângulo de 5° em relação à eclíptica (plano orbital da Terra).....	51
Figura 5 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), diferentes aspectos da mesma face da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.....	52
Figura 6 - Em (a) um ponto de vista fora da Terra e sobre o plano orbital (eclíptica). Em (b) uma representação global ilustra a órbita terrestre sem perspectiva à distância (vista “de cima” ou “de baixo”). Em (c) o plano orbital (eclíptica) e a linha do Equador projetadas no céu do hemisfério sul.....	53
Figura 7 - Modelo curricular “clássico” sobre o tema estações do ano. Uma representação visual da Transição 2. Neste caso, visto “de lado” - desta perspectiva a órbita fica alongada (muito excêntrica). O modelo está fora de escala de tamanho e de distância.....	54
Figura 8 - Em (a) a órbita da Terra vista “de lado” aparenta ser uma elipse com grande excentricidade – a maioria dos alunos acredita que essa seja a real descrição da órbita terrestre. Em (b) uma representação fidedigna da órbita terrestre vista “de cima” ou “de baixo”.....	55

Figura 9 - Imagem estática da tela do Moodle da disciplina onde é possível ver a sequência didática da Unidade 2.....	58
Figura 10 - Imagens estáticas retiradas do vídeo Eclipses Solares. Em (a) a órbita da Terra vista “de cima” ou “de baixo”. Em (b), a mesma vista de outra perspectiva. Em (c) as órbitas da Terra e da Lua vistas por um observador localizado na eclíptica (plano orbital da Terra).....	62
Figura 11 - Imagem estática da hipermídia As Fases ilustrando as posições relativas entre a Lua, a Terra e a direção e sentido dos raios solares (global) e a fase observada no hemisfério sul, quarto-crescente (local).....	63
Figura 12 - Imagem estática da hipermídia As Fases (Fases da Lua) mostrando a configuração da fase cheia.....	65
Figura 13 - Imagem estática que mostra a configuração da fase cheia na perspectiva sobre o plano orbital.....	66
Figura 14 - Sequência de imagens estáticas que mostram os movimentos de translação e de rotação síncronos da Lua.....	67
Figura 15 - Imagem estática do OA Translação destacando uma das características desse movimento, a sua forma elíptica.....	68
Figura 16 - Imagem estática do OA Translação destacando uma característica desse movimento, o eixo de rotação é inclinado em relação ao plano da órbita.....	69
Figura 17 - Imagem estática do OA Translação onde é apresentado um modelo visual para explicar as estações do ano.....	70
Figura 18 - Imagem do roteiro didático da Unidade 2 na plataforma Moodle.....	73
Figura 19 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), diferentes aspectos da mesma face da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.....	78
Figura 20 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) são ilustradas quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-ninguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.....	82

Figura 21 - Em (a) um ponto de vista fora da Terra e sobre o plano orbital (eclíptica). Em (b) uma representação global ilustra a órbita terrestre sem perspectiva à distância (vista “de cima” ou “de baixo”). Em (c) o plano orbital (eclíptica) e a linha do Equador projetadas no céu do hemisfério sul.....	86
Figura 22 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), o aspecto da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.....	96
Figura 23 - Frequências de respostas para a questão aberta sobre rotação síncrona lunar no pré-teste e na prova.....	102
Figura 24 - O histograma apresenta os resultados da prova em função das respostas no pré-teste durante o Procedimento B. Na parte superior são apresentados os resultados individuais de cada etapa avaliativa e as legendas correspondentes as barras do histograma.....	105
Figura 25 - Diagrama elaborado (concepção DRT) pelo aluno 7317 na prova.....	106
Figura 26 - Diagrama correto elaborado pelo aluno 2817 na prova.....	107
Figura 27 - Imagem estática retirada do modelo visual apresentado na hipermídia Rotação Síncrona.....	108
Figura 28 - Diagrama correto elaborado pelo aluno 10917 na prova.....	109
Figura 29 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) são ilustradas quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.....	113
Figura 30 - Frequências de respostas para a Q1 no pré-teste e na prova.....	115
Figura 31 - Frequências de respostas para a Q2 no pré-teste e na prova.....	117
Figura 32 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 2917. Exemplo da categoria Transição incorreta.....	120
Figura 33 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4017. Exemplo da categoria Transição incoerente.....	121
Figura 34 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517. Exemplo da categoria Transição correta.....	122

Figura 35 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 2017. Exemplo da categoria Não transita.....	122
Figura 36 - Frequências de respostas considerando as transições entre as perspectivas local e global no pré-teste e na prova.....	123
Figura 37 - O histograma apresenta os resultados da prova em função das respostas no pré-teste durante o Procedimento B. Na parte superior são apresentados os resultados individuais de cada etapa avaliativa e as legendas correspondentes às barras do histograma.....	124
Figura 38 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 0817 no pré-teste. Um caso classificado como Transição incorreta.....	126
Figura 39 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 0817 na prova. Um caso classificado como Transição correta.....	126
Figura 40 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517 no pré-teste. Um caso classificado como Transição incoerente.....	127
Figura 41 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517 na prova. Um caso classificado como Transita e Integra Corretamente.....	128
Figura 42 - Resultados da questão que investiga a justificativa para a não ocorrência mensal de eclipses. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal que representam as opções da referida questão e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa analisada.....	130
Figura 43 - Os três tipos de representação visual e as transições envolvidas na explicação das estações do ano.....	133
Figura 44 - Combinação de respostas das Q3 e Q9. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias da Q3 (excêntrica horizontal, pouco excêntrica e muito excêntrica) e pelas barras que representam individualmente cada uma das categorias da Q9.....	140
Figura 45 - Combinação de respostas das Q14 e Q15. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias da Q14 e pelas barras que representam individualmente cada uma delas uma categoria da Q15.....	145
Figura 46 - Resultados da questão que investiga o formato orbital terrestre em três distintos momentos. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as figuras (opções) da referida questão e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa.....	148

Figura 47 - Resultados da questão que investiga as explicações atribuídas pelos alunos para as estações do ano. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as justificativas mais frequentes utilizadas pelos estudantes e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa.....	150
Figura 48 - Nas representações abaixo, um modelo visual (a) sobre o eixo de rotação da Terra inclinado em relação ao plano orbital. Em (b) uma representação global sobre o modelo orbital comumente adotado pelos alunos (em perspectiva).	151
Figura 49 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer a Transição 2, mas integram as duas perspectivas envolvidas de maneira equivocada.....	152
Figura 50 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer as.....	153
Figura 51 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer a.....	154
Figura 52 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) do céu vista do hemisfério sul no verão com destaque para as projeções da linha do Equador e da Eclíptica. Em (b) um modelo visual sobre o eixo de rotação da Terra inclinado em relação ao plano orbital.....	154
Figura 53 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) do céu vista do hemisfério sul no verão com destaque para as projeções da linha do Equador e da Eclíptica. Em (b) uma representação global sobre o modelo orbital comumente adotado pelos alunos.....	155
Figura 54 - Exemplo da justificativa Variação de distância ao Sol via Transição 3..	155
Figura 55 - Exemplos da justificativa <i>Eixo Inclinado + Variação de distância ao Sol</i>	156
Figura 56 - Frequências dos caminhos percorridos (em termos das T1, T2 e T3) pelos estudantes ao explicarem as estações do ano na Q1.....	157
Figura 57 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) da órbita da Terra que vista “de lado” aparenta ser uma elipse com grande excentricidade – a maioria dos alunos indica acreditar que essa seja a real descrição da órbita terrestre. Em (b) uma representação fidedigna da órbita terrestre vista “de cima” ou “de baixo”.....	158
Figura 58 - Exemplo da categoria T3 correta, a resposta do aluno 8918.....	161
Figura 59 - Exemplo da categoria T3 correta, a resposta do aluno 12818.....	162
Figura 60 - Exemplo da categoria T3 incorreta, a resposta do aluno 1818.....	163
Figura 61 - Exemplo da categoria Não Transita, a resposta do aluno 5718.....	163

Figura 62 - Frequências das categorias de resposta da Q3 da Prova. Uma avaliação sobre a Transição 3.....	164
Figura 63 - Frequências das combinações de resposta considerando os resultados do teste impresso complementar e da prova.....	167
Figura 64 - Combinação de respostas para as estações e para as fases lunares. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias de transição relacionadas as Fases da Lua e pelas barras que representam individualmente cada um dos indicadores de transição a respeito das estações do ano.....	171
Figura 65 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 7418 no teste impresso complementar (T1 e T2).....	172
Figura 66 - Explicação para as fases da Lua apresentada pelo aluno 7418 no teste impresso complementar.....	173
Figura 67 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 8418 no teste impresso complementar (T1 e T2).....	173
Figura 68 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 8418 na prova (T3 correta).....	174
Figura 69 - Explicação para as fases da Lua apresentada pelo aluno 8418 no teste impresso complementar.....	175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Questões sobre o tema Rotação Síncrona da Lua avaliadas.....	77
Quadro 2 - Questões sobre o tema Estações do Ano avaliadas no pré-teste.....	79
Quadro 3 - Questões sobre o tema Rotação Síncrona da Lua avaliadas no semestre 2017-2.....	81
Quadro 4 - Questões sobre os tema Fases da Lua avaliadas no pré-teste e na prova do semestre 2017-1.....	82
Quadro 5 - Questão sobre o plano orbital da Lua no pré-teste e no teste impresso do semestre 2017 -1.....	83
Quadro 6 - Questões sobre estações do ano no pós-teste leituras durante o semestre 2018 -1.....	84
Quadro 7 - Questões sobre estações do ano no teste impresso e no teste complementar impresso durante o semestre 2018 -1.....	85
Quadro 8 - Questões sobre estações do ano na prova do semestre 2018 -1.....	87
Quadro 9 - Resumo do desenho metodológico da pesquisa.....	88
Quadro 10 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Rotação Síncrona - Procedimento A.....	90
Quadro 11 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Rotação Síncrona - Procedimento B.....	102
Quadro 12 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Fases da Lua – Procedimento B.....	113
Quadro 13 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Fases da Lua – Procedimento B.....	129
Quadro 14 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Estações do ano – Procedimento A.....	134
Quadro 15 - Questões sobre estações do ano no pré-teste - Procedimento A.....	135
Quadro 16 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Estações do ano – Procedimento B.....	141
Quadro 17 - Questões sobre estações do ano no pré-teste de 2018-1.....	142
Quadro 18 - Questões sobre estações do ano no pós-teste de 2018-1.....	144
Quadro 19 - Questões sobre estações do ano no teste impresso e teste impresso complementar de 2018-1.....	147
Quadro 20 - Questão sobre estações do ano na prova de 2018-1.....	159

Quadro 21 - Modificações no pré-teste.....	193
Quadro 22 - Modificações no teste online pós leituras.....	194
Quadro 23 - Modificações no teste.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequências das categorias de resposta – pré-teste.....	92
Tabela 2 - Frequências das categorias de resposta – prova.....	99
Tabela 3 - Categorias de resposta da Q1 e seus exemplos.....	114
Tabela 4 - Categorias de resposta da Q1 e seus exemplos.....	116
Tabela 5 - Contingência - as categorias de resposta para as Q1 e Q2.....	119
Tabela 6 - Frequências de respostas da Q3.....	136
Tabela 7 - Exemplos e frequência das categorias de respostas da Q9.....	138

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 HIPÓTESE.....	26
1.2 JUSTIFICATIVA.....	26
1.3 OBJETIVO GERAL.....	27
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
2 VISUALIZAÇÃO COMO UM PROCESSO COGNITIVO.....	29
2.1 VISUALIZAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	29
2.2 OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO E A TEORIA DA CARGA COGNITIVA.....	34
2.3 AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM MEDIADA PELO USO DE OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO.....	39
3 EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA.....	41
3.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM INTRÍNSECAS EM ASTRONOMIA.....	41
3.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS EM ASTRONOMIA.....	43
3.2.1 Movimentos da Lua (rotação síncrona).....	43
3.2.2 Fases da Lua.....	45
3.2.3 Estações do ano.....	46
3.3 VISUALIZAÇÃO E O ENSINO DE ASTRONOMIA.....	48
3.3.1 Movimentos e fases da Lua.....	50
3.3.2 Estações do ano.....	52
4 CONTEXTO DA PESQUISA.....	57
4.1 A DISCIPLINA.....	57
4.2 OS MATERIAIS DIDÁTICOS UTILIZADOS NA U2.....	59
4.2.1 Vídeo Eclipses Solares.....	62
4.2.2 Hipermídia Caronte: as Fases da Lua e a Rotação Síncrona.....	63
4.2.3 Hipermídia Caronte: Movimentos da Terra.....	68
5 METODOLOGIA.....	72
5.1 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO.....	72

5.2	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO.....	74
5.3	PROCEDIMENTO A: ANÁLISE PRELIMINAR.....	76
5.4	PROCEDIMENTO B: ENFOQUES SEMESTRAIS.....	79
5.4.1	A Rotação Síncrona da Lua (2017-2).....	80
5.4.2	Fases da Lua (2017-1).....	81
5.4.3	Estações do ano (2018-1).....	84
5.4.4	Estações do ano e Fases da Lua (2018-1).....	87
5.5	UM RESUMO DO DESENHO METODOLÓGICO.....	88
6	RESULTADOS.....	90
6.1	ROTAÇÃO SÍNCRONA DA LUA – PROCEDIMENTO A.....	90
6.1.1	Pré-teste.....	91
6.1.2	Objetos de visualização.....	97
6.1.3	Prova.....	98
6.2	ROTAÇÃO SÍNCRONA DA LUA – PROCEDIMENTO B.....	101
6.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DA ROTAÇÃO SÍNCRONA LUNAR.....	109
6.4	FASES DA LUA – PROCEDIMENTO B.....	112
6.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DAS FASES DA LUA.....	131
6.6	AS ESTAÇÕES DO ANO – PROCEDIMENTO A.....	132
6.7	AS ESTAÇÕES DO ANO – PROCEDIMENTO B.....	141
6.7.1	Pré-teste.....	142
6.7.2	Leituras e vídeo.....	143
6.7.3	Pós-teste leituras.....	143
6.7.4	Aulas virtuais, vídeo e texto complementar.....	146
6.7.5	Teste impresso.....	146
6.7.6	Prova.....	158
6.7.7	Combinação dos resultados do teste impresso e da prova.....	165

6.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DAS ESTAÇÕES DO ANO.....	168
6.9 ESTAÇÕES DO ANO E FASES DA LUA – PROCEDIMENTO B.....	170
7 CONCLUSÃO.....	176
REFERÊNCIAS.....	183
APÊNDICE A – Reformulação do AVA e questões inseridas nos instrumentos de avaliação da disciplina INTIFIS-A (Procedimento B).....	192
APÊNDICE B – Pré-teste complementar impresso 2017-1 (Procedimento B) .	196
APÊNDICE C – Teste impresso complementar 2018-1 (Procedimento B).....	197
ANEXO A – Texto 1.....	198
ANEXO B – Texto complementar – Cônicas: A elipse.....	207

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Astronomia envolve necessariamente o uso de recursos que forneçam para os estudantes diferentes perspectivas de observação dos fenômenos com o objetivo de os auxiliar na visualização e aquisição de novos conhecimentos. É comum elaborarmos modelos visuais que têm como objetivo primário constituírem-se como mediadores da aprendizagem dos fenômenos astronômicos.

Compreender, por exemplo, por que a Lua apresenta diferentes aspectos no céu com o passar dos dias nem sempre é uma tarefa fácil. A mesma dificuldade é encontrada quando procuramos uma explicação válida para a ocorrência das estações do ano. Explicar esses fenômenos observados a partir da Terra exige de nós uma capacidade de imaginação/abstração sobre o que está acontecendo em escalas maiores, ou seja, de mudar de perspectiva e colocar-se num ponto de vista privilegiado no qual é possível observar à distância os movimentos dos astros envolvidos.

O recurso aos mencionados modelos visuais surge como um meio facilitador do ensino e da aprendizagem desse campo do conhecimento, pois essas ferramentas possibilitam a ilustração de perspectivas diferentes daquelas que temos acesso através da observação da natureza no cotidiano.

No entanto, o uso desses recursos que se propõem a auxiliar os estudantes na visualização dos conceitos estudados pela Astronomia não garante que eles atinjam os seus objetivos educacionais. Como tal, a avaliação dessas ferramentas ou do seu uso em ambiente educacional é sempre necessária.

Avaliações de recursos didáticos, por exemplo, são tarefas bastante complicadas e, geralmente, envolvem múltiplas dimensões. Elas podem, por exemplo, ser orientadas ao produto (recurso didático) e realizadas por especialistas naquilo que se quer avaliar e/ou orientadas ao público-alvo, os estudantes. Neste último caso, o produto é utilizado num ambiente educacional e são avaliados a percepção do seu uso e/ou os resultados de aprendizagem (SILVA e ELLIOT, 1997; 1998; REZENDE, 2001; MACHADO e SANTOS, 2004; MACHADO e NARDI, 2007; HEIDRICH, 2009; FAGUNDES, 2014). Nesse sentido, a avaliação do uso de recursos didáticos consiste numa dimensão da avaliação desses materiais.

O que fazemos nesta pesquisa pode ser entendido como uma avaliação em larga escala dos resultados de aprendizagem ocasionados pelo uso de recursos visuais em ambiente educacional. Isto porque as nossas investigações ocorrem através de dados disponibilizados/coletados ao longo de 6 anos numa disciplina de introdução à Física de um curso universitário da área de Ciências Exatas e Tecnologia de uma instituição federal de ensino superior (IFES). A disciplina é oferecida em caráter semipresencial e numa de suas unidades componentes, que é dedicada a fenômenos astronômicos básicos, recursos visuais especialmente elaborados são disponibilizados num ambiente virtual de aprendizagem (AVA) para serem utilizados de maneira autônoma pelos alunos sem necessariamente a presença do professor.

Avaliar um recurso como mediador da aprendizagem é um desafio em si, pois há diversas variáveis relevantes para esse processo e nem todas são muito bem conhecidas. O que se sabe, de modo geral, é que a combinação de forma e conteúdo pode influenciar fortemente nos resultados de aprendizagem encontrados (BODEMER et al, 2004; SUH e MOYER-PACKENHAM, 2007; SWELLER, 2008; MUNZER et al, 2009; HÖFFLER e SCHWARTZ, 2011; SILVA, 2012)

Neste contexto, a discussão sobre o papel da **visualização** se torna o tema central do trabalho, pois ela nos permite entender melhor: tanto o processo de ensino e de aprendizagem quando mediado por recursos visuais quanto algumas das dificuldades de compreensão intrínsecas ao estudo da Astronomia.

Adotamos a palavra “visualização” como um verbo, uma ação que é entendida como a interpretação de imagens mentais ou visualização interpretativa, enquanto a mesma palavra como um substantivo é entendida como um objeto, algo que pode ser compartilhado e é de domínio público, um objeto de visualização (GILBERT, 2008; VAVRA et al, 2011). No Capítulo 2 apresentamos uma visão mais abrangente sobre essa discussão. Neste momento, descrevemos apenas a definição utilizada e que é importante para situar onde se encontra o recorte deste trabalho de pesquisa.

Os recursos visuais que são disponibilizados no AVA da disciplina de introdução à Física são entendidos, portanto, como objetos de visualização que

podem dar suporte aos estudantes na construção de imagens mentais e na visualização (interpretativa) dos fenômenos astronômicos básicos.

Os fenômenos considerados, no recorte deste trabalho, são os movimentos de rotação e de translação (síncronos) da Lua, as fases lunares e as estações do ano.

Muitas das dificuldades encontradas na interpretação desses conceitos parecem ter origem na falta ou falha de transição entre aquilo que conseguimos observar do referencial terrestre e aquilo que seria observado de um ponto de vista privilegiado. Este ponto de vista é, geralmente, aquele adotado nos modelos visuais que criamos com o intuito de auxiliar os estudantes na observação de todos os objetos/corpos envolvidos num determinado fenômeno. Por exemplo, quando pensamos na explicação para as fases da Lua ou dos eclipses solares e lunares sempre é necessário imaginar uma perspectiva onde seja possível observar o Sol (ou pelo menos a direção e o sentido dos raios de luz), a Terra e a Lua à distância. Como estamos na superfície da Terra, não conseguimos observá-la completamente (CAMINO, 1995; PARKER e HEYWOOD, 1998; CANALLE, 2003; KRINER, 2004; SCARINCI e PACCA, 2006; LELLIOT e ROLLNICK, 2010; LANGHI, 2011).

Considerando esse problema intrínseco de aprendizagem dos fenômenos astronômicos, traçamos um paralelo com algumas pesquisas que discutem o papel da visualização no ensino das ciências as quais destacam a importância de fornecer suporte para a visualização de distintos tipos de representação visual. Essa discussão nos leva a destacar alguns tipos de representação visual que se referem às mudanças de perspectivas exigidas na explicação dos movimentos/fases lunares e das estações do ano os quais, geralmente, os estudantes possuem dificuldades de construir e de interpretar.

O objetivo da pesquisa, portanto, é investigar as dificuldades (ou não) dos estudantes de visualizar esses fenômenos e se elas persistem após os estudos com os objetos de visualização propostos na disciplina em questão. Interessa-nos, por exemplo, entender como os estudantes que apresentam uma determinada dificuldade com um assunto específico evoluem após a interação com os recursos visuais disponibilizados.

1.1 HIPÓTESE

Nossa hipótese é a de que os estudantes têm dificuldades de construir e de transitar entre distintos tipos de representações visuais essenciais para a visualização de fenômenos astronômicos básicos. Esses tipos de representação se referem aos distintos pontos de vista em que os fenômenos são observados sejam eles objetos de visualização reais ou modelos visuais idealizados e elaborados para o ensino de Astronomia (CANALLE, 2003; PINTO, FONSECA e VIANA, 2007; GILBERT, 2008; 2010; AGUIAR, BARONI e FARINA, 2009; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; MNGUNI, 2014; GOMIDE e LONGHINI, 2017).

Não obstante, recursos visuais que apresentam essas perspectivas, daquilo que observamos da Terra e daquilo que observaríamos num referencial à distância suficiente para ver a totalidade dos corpos, consideradas essenciais para a visualização dos fenômenos astronômicos, podem dar suporte aos estudantes na construção dessas representações visuais e na interpretação das mesmas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Há diversos aspectos sobre o papel da visualização para o ensino das ciências que precisam ser mais bem compreendidos (GILBERT, 2008; VAVRA et al, 2011; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; MNGUNI, 2014). No campo da Educação em Astronomia essa discussão é bastante pertinente, pois a compreensão dos fenômenos mais básicos envolve habilidades de mudanças de perspectiva as quais facilitam a interpretação daquilo que vemos a partir da Terra (SCARINCI e PACCA, 2006; SABOTA e SOBREIRA; 2011; GOMIDE e LONGHINI, 2017).

Nesse sentido, a utilização de recursos visuais que fornecem suporte para essas mudanças de ponto de vista essenciais para a visualização dos fenômenos astronômicos deve ser acompanhada por avaliações sobre a sua inserção em ambientes educacionais (HEGARTY, 2004; SILVA, 2012; FAGUNDES, 2014).

1.3 OBJETIVO GERAL

Investigar a visualização interpretativa de estudantes do ensino superior sobre fenômenos astronômicos básicos através das representações que os mesmos elaboram em avaliações de uma disciplina onde objetos de visualização são mediadores da aprendizagem.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar se alguma dificuldade previamente identificada de visualização de um fenômeno específico influencia nos resultados de aprendizagem.
- Avaliar se as dificuldades (ou não) de explicar um fenômeno específico a partir de uma determinada perspectiva e/ou de transitar entre pontos de vista distintos (distintos tipos de representação visual) persiste após a interação com os objetos de visualização propostos.
- Caracterizar os efeitos de aprendizagem das fases e dos movimentos lunares propiciados pelo uso dos objetos de visualização propostos.
- Analisar após os estudos com os materiais propostos como os estudantes que indicam alguma dificuldade (ou não) de visualizar as estações do ano explicam as fases lunares e vice-versa.

No Capítulo 2 discutimos sobre a visualização e o seu papel para o ensino das ciências. Apresentamos também uma discussão sobre a teoria cognitiva de aprendizagem assumida no âmbito desta pesquisa.

O Capítulo 3 é dedicado a uma discussão sobre a educação em Astronomia. Apresentamos algumas das dificuldades intrínsecas ao processo de ensino e de aprendizagem desta área e uma revisão bibliográfica sobre as concepções prévias mais recorrentes acerca dos movimentos e fases lunares e das estações do ano. Por fim, destacamos os tipos de representação visual que assumimos serem essenciais para a visualização dos fenômenos avaliados.

No Capítulo 4 apresentamos o ambiente de real de aprendizagem onde essa pesquisa coletou os dados, o foco deste capítulo é descrever um pouco esse ambiente educacional onde ocorreram as nossas investigações e os objetos de visualização que foram propostos.

O Capítulo 5 é dedicado à descrição da metodologia da pesquisa.

Os resultados encontrados são apresentados no Capítulo 6 e as conclusões no Capítulo 7.

2 VISUALIZAÇÃO COMO UM PROCESSO COGNITIVO

Neste capítulo apresentamos uma discussão mais abrangente sobre a visualização no Ensino de Ciências. Buscamos distinguir alguns termos que foram utilizados no capítulo anterior e descrever melhor a relevância do processo de visualização para a avaliação proposta. Apresentamos também uma discussão sobre a teoria cognitiva de aprendizagem adotada no âmbito deste trabalho.

2.1 VISUALIZAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS

A visão consiste num dos meios pelos quais coletamos informações e percebemos o “mundo” exterior. No entanto, nem sempre tudo aquilo que “internalizamos” através desse sentido nas nossas experiências cotidianas é suficiente para que os fenômenos investigados pelas ciências sejam compreendidos.

Podemos inicialmente encontrar respostas para essa constatação na Psicologia Cognitiva, pois há um consenso neste campo do conhecimento de que criamos representações mentais (internas) acerca do mundo exterior através dos sentidos. Nossa mente trabalha com essas representações internalizadas a partir das coisas e de representações externas do mundo a nossa volta e é através delas que resolvemos problemas, atribuímos significados a tudo o que experimentamos (CHANDLER e SWELLER, 1991; CLARK e PAIVIO, 1991; MAYER, 2005; SWELLER, 2008).

É importante ressaltar que a nossa compreensão a respeito da cognição humana ainda é bastante restrita. A busca por respostas sobre a forma como se dá o processamento cognitivo ganhou maiores proporções na segunda metade do século XX quando diversos autores se debruçaram na tentativa de elaborar um modelo sobre o nosso modo de processar as informações (NEUFELD, BRUST e STEIN, 2011). Allan Paivio, por exemplo, apresentou um modelo que ficou conhecido como Teoria da Codificação Dual (TCD). Esse autor defende a existência de dois subsistemas de processamento de informações que se comunicam, um verbal que é especializado no processamento de representações verbais e outro imagético que é especializado no processamento de informações não verbais, objetos e eventos

(CLARK e PAIVIO, 1991). A TCD é referência para diversas teorias cognitivas de aprendizagem mais atuais (MAYER, 2005; SWELLER, 2008) e também para pesquisas voltadas ao entendimento do papel da visualização no Ensino de Ciências (GILBERT, 2008; VAVRA et al, 2011; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; MNGUNI, 2014).

Da Teoria do Conhecimento (HESSEN, 2000) é importante entender a diferença que existe entre os objetos reais e aqueles idealizados e criados para explicar os fenômenos da natureza. Nesse sentido, as representações externas que são compartilhadas por uma comunidade científica possuem características específicas e que precisam ser reconhecidas, internalizadas e compreendidas pelas pessoas. Essa discussão nos leva ao conceito de modelo. Portanto, os objetos dos quais as ciências se ocupam não são exatamente aqueles da realidade concreta, os quais observamos e percebemos diariamente. Os modelos científicos são objetos idealizados e que respeitam certos contextos de validade (MEDEIROS e MEDEIROS, 2001)

Portanto, é duvidoso esperar que a experimentação cotidiana seja suficiente para que as pessoas compreendam e apresentem explicações sobre determinados conceitos/modelos científicos. Uma das implicações para o ensino é a de que o uso de recursos visuais pode ter um papel fundamental para que os estudantes consigam atingir níveis satisfatórios de compreensão dos conceitos estudados. Geralmente, é relevante a apresentação de esquemas e modelos didáticos simplificados também chamados de modelos curriculares (GILBERT, 2008) com o intuito de fornecer, dentre outros objetivos, auxílio à visualização.

Essa discussão nos leva ao uso de diferentes termos que precisam ser mais bem compreendidos e diferenciados. Afinal, qual é a relação existente entre os termos **representação**, **modelo** e **visualização**? Seriam eles no âmbito do Ensino de Ciências sinônimos? Ou seriam conceitos distintos? Se forem conceitos distintos, o que os diferencia? Entendemos que é pertinente buscar uma definição dessas palavras que serão utilizadas com bastante frequência neste trabalho. Com isto, podemos ter uma noção mais abrangente de um todo e onde se encontra o recorte que fazemos nesta pesquisa.

Iniciamos a discussão com a palavra “visualização” porque é comum ela ser utilizada com distintos significados em pesquisas de diversas áreas do conhecimento, assim como no âmbito do Ensino de Ciências (GILBERT, 2008; VAVRA et al, 2011; CHANG RUNDGREN e YAO; 2014).

Gilbert (2008) apresenta duas convenções onde a palavra visualização é usada como um verbo (ato de visualizar mentalmente alguma coisa) ou como um substantivo (objeto concreto). Ao entendê-la dessa forma, é possível se fazer uma distinção ontológica de duas formas de representações visuais, a interna e a externa. A primeira se refere às construções mentais e pessoais de cada indivíduo, ou seja, suas imagens mentais. A segunda se refere às construções humanas que são compartilhadas e de domínio público. Resumindo, entende-se que o fornecimento de representações visuais externas pode auxiliar as pessoas na construção de suas imagens mentais (representações visuais internas) e interpretação das mesmas (visualização). Essa distinção é fundamentada nos estudos em Psicologia Cognitiva mencionados acima (CLARK e PAIVIO, 1991; MAYER, 2005; SWELLER, 2008).

Num estudo mais recente, Vavra et al (2011) fazem uma revisão de 65 pesquisas sobre o tema Visualização no Ensino de Ciências e verificam pelo menos três diferentes definições utilizadas. Essas definições convergem em certos aspectos com aquelas apresentadas por Gilbert (2008). Segundo os autores, **objetos de visualização** são quaisquer objetos didáticos físicos utilizados para serem observados, tais como imagens, maquetes, gráficos, diagramas, tela de um computador. As **visualizações introspectivas** por sua vez definem os objetos criados pela mente, os quais podem ser entendidos como representações mentais espontâneas do mundo exterior e a **visualização interpretativa** se refere ao processo cognitivo ativo, à mudança no pensamento devido à interação entre objetos de visualização e visualizações introspectivas. Apesar de utilizarem nomenclaturas distintas, entendemos que esses autores citados convergem em suas definições e utilizam a palavra como um verbo, um ato, uma ação.

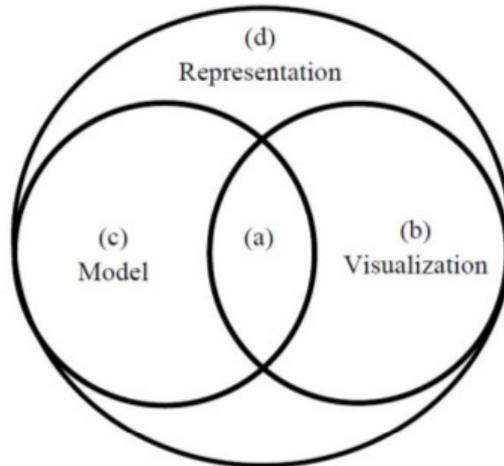
Mnguni (2014) destaca ainda que a visualização no Ensino de Ciências pode ser entendida através de três estágios não-lineares que são a internalização de modelos visuais, a conceitualização de modelos visuais e a externalização de

modelos visuais. Os dois primeiros estágios destacados por esse autor são bastante similares aos conceitos de visualização introspectiva e visualização interpretativa, respectivamente, apresentados por Vavra et al (2011). Todavia, o último estágio que é a externalização destaca os modelos visuais que são elaborados pelos alunos após uma situação de ensino e de aprendizagem. De acordo com o autor, o próprio ato de externalizar verbal ou pictorialmente um modelo mental pode ajudar no processo de aprendizagem. Não obstante, essa é uma forma de acessar e buscar interpretação sobre aquilo que os alunos compreendem de um determinado modelo visual didático apresentado para eles.

Chang Rundgren e Yao (2014) numa reflexão sobre o papel que a visualização assume no Ensino de Ciências, finalmente, destacam as diferenças e as semelhanças entre os três termos (visualização, modelo e representação). O conceito de representação é o mais amplo e engloba os outros dois: modelo e visualização. Uma representação seria uma estrutura convencionada para se referir a alguma coisa qualquer, por exemplo, uma palavra para um objeto, uma imagem para uma cena ou uma frase cheia de palavras para uma dada situação. Um modelo seria, segundo os autores, uma forma de representação utilizada com o propósito de se referir a uma ideia ou mesmo a uma simplificação de um determinado fenômeno para a partir dela se desenvolver investigações a respeito deste. Diferentemente dos outros autores, eles não apresentam um conceito “pronto” para o termo visualização, mas discutem sobre a pluralidade de conceitos existentes nas pesquisas sobre o assunto assim como fazem Gilbert (2008) e Vavra et al (2011) destacando pelo menos dois tipos de entendimento acerca do termo: 1- Representações internas são criadas a partir de representações externas, o processo cognitivo de interpretação das representações internas é a visualização, 2- A visualização enquanto uma representação externa.

Ainda de acordo com Chang Rundgren e Yao (2014) é possível entender que os três conceitos se sobrepõem em algum momento (Figura 1a).

Figura 1 - A relação entre representação, modelo e visualização.



Fonte: Chang Rundgren e Yao (2014).

Apresentamos a seguir a distinção e a sobreposição deles a partir de seus correspondentes externos. Por ser um conceito mais amplo nem toda representação é ao mesmo tempo um modelo e/ou uma visualização (nos referimos a uma representação visual externa/objeto de visualização) conforme ilustra a parte “d” da Figura 1, por exemplo, uma frase falada pode conter diversas palavras as quais juntas representam um sentimento ou uma metáfora. Nesse caso, ela é apenas uma representação, não há qualquer modelo ou visualização associados. Uma representação pode ser ao mesmo tempo uma visualização, que é o caso de uma ilustração de algum objeto ou evento (Figura 1b). Do mesmo modo, uma representação pode ser ao mesmo tempo um modelo sem envolver visualização (Figura 1c), isto porque um modelo pode se constituir também nos modos de representação auditório/verbal e/ou tátil. Portanto, a parte “c” se refere a esses casos. A sobreposição dos três conceitos ocorre quando uma representação com um propósito específico de descrever uma simplificação de um fenômeno qualquer é constituída no modo de representação visual (Figura 1a). O que para os autores inclui tanto imagens quanto equações e notações escritas.

Compreendemos, portanto, que representações externas podem estar contidas em objetos de visualização, por exemplo, um modelo curricular visual sobre os átomos pode ser apresentado em uma imagem (objeto de visualização). Todavia,

podemos nos referir também a esse modelo curricular visual como sendo um objeto de visualização.

Neste trabalho, utilizamos o termo visualização como um processo cognitivo de interpretação de imagens mentais e consideramos os materiais didáticos utilizados no ambiente educacional com o propósito de fornecer auxílio visual como objetos de visualização. Eles serão apresentados no Capítulo 4.

Quando nos referirmos especificamente ao caso da sobreposição entre os conceitos de modelo e de representação visual externa, utilizaremos o termo modelo curricular visual ou apenas modelo visual.

É importante destacar que da mesma forma que os recursos didáticos elaborados com o intuito de fornecer suporte à interpretação visual se constituem como objetos de visualização, os estudantes ao externalizarem as suas explicações neste modo de representação também produzem os mesmos objetos (MNGUNI, 2014). O objetivo desta pesquisa é justamente investigar a visualização interpretativa dos alunos através da análise das representações visuais elaboradas por eles nos instrumentos de avaliação de uma disciplina de Física do ensino superior onde recursos visuais são mediadores da aprendizagem. Em alguns momentos, principalmente pelas limitações dos instrumentos de coleta de dados (avaliações/questionários), levamos em consideração também as representações verbais elaboradas por eles, pois entendemos que ambas podem estar conectadas (CLARK e PAIVIO, 1991; MAYER, 2005).

2.2 OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO E A TEORIA DA CARGA COGNITIVA

Algumas pesquisas que se apropriam dessa discussão sobre a visualização no ensino das ciências têm focado na avaliação da utilização de objetos de visualização em ambientes de aprendizagem. Dentro desse contexto há um consenso de que a combinação do formato e do conteúdo apresentados, nesses recursos podem influenciar fortemente nos resultados de aprendizagem (BODEMER et al, 2004; SUH e MOYER-PACKENHAM, 2007; MUNZER et al, 2009; HÖFFLER e SCHWARTZ, 2011). No que tange ao formato do recurso visual, características como a dinâmica da informação e a interatividade são alguns dos fatores que

quando bem elaborados podem facilitar a compreensão daquilo que se quer ensinar.

Uma referência bastante frequente para esse desenho ou *design* instrucional (FILATRO, 2008) onde se leva em consideração a combinação de forma e conteúdo em materiais didáticos elaborados com o intuito de fornecer auxílio à visualização é a Teoria da Carga Cognitiva. Não obstante, ela deu embasamento teórico para a elaboração de alguns dos objetos de visualização que são utilizados no ambiente virtual da disciplina e é a teoria de aprendizagem na qual se baseia este trabalho.

A premissa central da Teoria da Carga Cognitiva (TCC) (SWELLER, 2002, 2008, 2011) é a de que a organização da informação nos materiais didáticos, em geral, pode estar alinhada com a arquitetura cognitiva humana. Quando esse alinhamento ocorre, os resultados de aprendizagem são potencializados.

A teoria assume, então, que a arquitetura cognitiva é constituída pelas memórias de trabalho e de longo prazo. A primeira possui capacidade limitada de processamento e interage com a última que tem capacidade ilimitada. O objetivo é apresentar o conteúdo sem sobrecarregar a memória de trabalho do indivíduo, auxiliando no armazenamento das informações de forma esquemática na memória de longo prazo.

A limitação da memória de trabalho é entendida a partir do conceito de carga cognitiva. Distinguem-se dois tipos de carga: a intrínseca e a estranha. A primeira está relacionada com a natureza estrutural das informações ou do conteúdo a ser estudado e para explicar isso os autores usam o conceito de interatividade elementar. Entende-se que a interatividade elementar é grande quando diversos elementos de informação precisam ser compreendidos simultaneamente, nesse caso, há um excesso de carga cognitiva intrínseca. No outro extremo de um contínuo, onde um conteúdo contém poucas informações que precisam ser compreendidas simultaneamente, há pouca demanda dessa carga. Ainda pode ser adicionada na memória de trabalho a carga estranha, a qual deriva das informações irrelevantes para a aprendizagem e que é introduzida no processo de instrução ou no material didático pelas escolhas associadas ao desenho e/ou formato adotado.

Num cenário onde há pouca solicitação de carga cognitiva intrínseca, a adição de cargas estranhas impostas pelo material didático podem não ser um fator dificultador da aprendizagem, pois a soma das duas pode não sobrecarregar a

memória de trabalho. Entretanto, quando o conteúdo apresenta grande interatividade elementar, a adição de carga estranha pode sobrecarregar a memória de trabalho e impossibilitar a aprendizagem. Neste contexto, a TCC fornece os norteadores que podem contribuir para a simplificação do conteúdo e a apresentação da informação de forma a tornar um recurso didático com qualidade e eficiência instrucional.

Sweller et al (2011) destaca que a carga cognitiva intrínseca imposta pelo estudo de determinado conteúdo é inalterável, a menos que o próprio conteúdo seja alterado. Sendo assim, a eliminação de algumas informações referentes a determinado assunto pode reduzir a interatividade elementar e, conseqüentemente, a carga intrínseca que é imposta durante o processamento cognitivo. Nesse caminho, a elaboração de modelos iniciais que negligenciam informações não tão essenciais pode ser de grande valia para a aprendizagem num primeiro momento. Ao idealizarmos um objeto estamos apresentando algumas das suas principais características ou aquelas que são mais importantes para determinado fim, reduzindo assim a quantidade de informações que precisam ser processadas simultaneamente. Esse processo levará os indivíduos a uma aprendizagem que os autores chamam de orientada.

O “empréstimo” de um modelo com interatividade elementar reduzida é visto pela TCC como essencial para que o aluno consiga armazenar/melhorar um primeiro esquema sobre o assunto na memória de longo prazo. Este esforço, no entanto, deve ser temporário e perde o seu sentido conforme os alunos ganham proficiência no assunto estudado. Para ocorrer de fato a compreensão do conteúdo o indivíduo deverá, em algum momento, processar todas as informações essenciais, ou seja, toda a carga cognitiva intrínseca associada a ele. Um exemplo simples ocorre no estudo da multiplicação matemática onde os alunos geralmente aprendem inicialmente e de forma orientada que $3 \times 4 = 12$. Entretanto, estes alunos apenas irão compreender de fato a multiplicação quando também entenderem a sua ligação com a adição e que $3 \times 4 = 3 + 3 + 3 + 3 = 4 + 4 + 4 = 12$ (SWELLER et al, 2011).

É importante salientar a relevância dada pela TCC aos conhecimentos prévios dos alunos. Os autores utilizam o termo *expertise* para identificar os indivíduos que já possuem conhecimentos sobre o assunto que será estudado e que estão armazenados de forma esquemática na memória de longo prazo. Ocorre que,

esses esquemas já adquiridos interagem na memória de trabalho com as novas informações provenientes do processo de instrução. O grau de *expertise* pode fazer com que o indivíduo não necessite processar mais diversas informações simultaneamente, mas sim um(alguns) esquema(s) contendo diversos elementos de informação que já foi(foram) processado(s) e armazenado(s) anteriormente. Um exemplo utilizado pelos autores para esse processo de automatização é a leitura. Com a prática, as letras que compõem as palavras são elementos que estão unidos num único esquema (a palavra) e não precisamos mais processar letra por letra para entender o seu significado.

Resumindo, conforme o aluno ganha proficiência num determinado assunto, a adição de novas informações e o enriquecimento dos esquemas armazenados na memória de longo prazo devem fazer com que ele reduza a quantidade de informações que precisam ser processadas na memória de trabalho num mesmo instante. Sendo assim, o método de ensino com orientação deve ser reduzido conforme o aluno vai aumentando a sua *expertise*.

Quanto à preocupação com as cargas cognitivas estranhas, a TCC destaca uma série de efeitos instrucionais e que podem ser causados pela forma como as informações são apresentadas. Nos últimos anos diversas pesquisas que visam investigar a melhor forma de elaborar objetos de visualização para o ensino das ciências têm se apropriado desse referencial (HEGARTY, 2004, MUNZER et al, 2009; HÖFFLER e SCWHARTZ, 2011).

Uma das discussões mais pertinentes está relacionada com os benefícios da utilização de objetos estáticos (imagens estáticas) ou de objetos dinâmicos (animações e vídeos). Alguns trabalhos apontam vantagens em relação ao uso de objetos dinâmicos como vídeos e animações enquanto outros advogam a favor dos objetos estáticos. Munzer et al (2009), por exemplo, investigam a utilização de animações e imagens estáticas no ensino de um processo molecular identificando que as animações produzem resultados melhores de aprendizagem do que imagens estáticas. Höffler e Schwartz (2011) verificam os efeitos do controle da passagem das informações e dos estilos cognitivos através da utilização de telas estáticas (imagens estáticas) e telas dinâmicas (animações) no ensino de uma reação química. Os autores encontram que os resultados são melhores para o uso de tela

estática onde o aprendiz não tem controle da passagem da informação e tela dinâmica onde o aprendiz controla a passagem da informação.

A principal vantagem das imagens estáticas é a de que o indivíduo pode fazer a reinspeção das informações mais de uma vez enquanto que nos objetos dinâmicos a passagem das informações pode ocorrer num intervalo de tempo menor do que o do processamento na memória de trabalho e sem que seja possível fazer qualquer reinspeção. Logo, em situações onde o conteúdo apresenta alta interatividade elementar e/ou os alunos têm pouco conhecimento inicial sobre o assunto, os objetos de visualização, principalmente os dinâmicos, devem ser elaborados de forma a minimizar cargas intrínsecas e, principalmente, estranhas.

Esses dois fatores se fazem presentes no cenário desta pesquisa: os alunos geralmente possuem pouco conhecimento inicial sobre os tópicos estudados ou até mesmo conhecimentos que estão em desacordo com uma explicação cientificamente aceita sobre eles e o conteúdo em si é complexo.

Quanto aos conteúdos de Astronomia que são objetos deste trabalho, eles são complexos porque é necessário compreender movimentos que ocorrem simultaneamente e o observador precisa se imaginar fora da Terra impondo naturalmente uma demanda de carga cognitiva intrínseca na memória de trabalho. Além disso, as necessárias mudanças de perspectiva impostas pelos modelos visuais apresentados nos objetos de visualização fazem com que os indivíduos tenham que transitar entre eles para compreender um determinado fenômeno.

Portanto, este é um cenário que envolve alta interatividade elementar, por isso, os procedimentos metodológicos e o formato da informação adotados nos objetos de visualização propostos foram pensados de modo a reduzir a imposição de carga cognitiva estranha. Pressupomos que esses fatores podem influenciar positivamente nos resultados de aprendizagem. Isto porque, diferentemente dos trabalhos mencionados acima, não é nosso objetivo de pesquisa avaliar o uso de distintos formatos (imagens estáticas ou animações, por exemplo) para o ensino dos fenômenos astronômicos básicos considerados. O que fazemos é avaliar os resultados propiciados pelo uso de uma proposta bem definida de materiais didáticos/objetos de visualização que será melhor descrita no Capítulo 4.

2.3 AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM MEDIADA PELO USO DE OBJETOS DE VISUALIZAÇÃO

Avaliar a aprendizagem quando mediada pelo uso de objetos de visualização levando em consideração todos os aspectos descritos na seção anterior é um desafio bastante significativo, são muitas as variáveis que podem influenciar nos resultados encontrados.

No que se refere ao método de avaliação, adotamos práticas equivalentes a de outras pesquisas mencionadas na seção anterior. Em geral, a metodologia de avaliação empregada nos trabalhos que investigam o uso de recursos visuais em ambientes educacionais consiste na aplicação de pré e pós-testes que possibilitam uma comparação do desempenho dos estudantes de uma etapa avaliativa para a outra (BODEMER et al, 2004; MUNZER et al, 2009; SCHEITER et al, 2009; HÖFFLER e SCHWARTZ, 2011). Conforme mostraremos no Capítulo 5, a disciplina na qual esta pesquisa foi desenvolvida contém diversas etapas avaliativas as quais fornecem a possibilidade de avaliação do desempenho dos estudantes antes, durante e após o uso dos objetos de visualização.

Quanto às variáveis que influenciam no uso de recursos visuais em ambientes educacionais, nem todas são muito bem conhecidas. Há, no entanto, um consenso de que a combinação de forma e conteúdo apresentados (características do material), bem como, os conhecimentos prévios dos estudantes podem influenciar fortemente nos resultados de aprendizagem encontrados (BODEMER et al, 2004; KRIZ e HEGARTY, 2007; SUH e MOYER-PACKENHAM, 2007; SWELLER, 2008; MUNZER et al, 2009; HÖFFLER e SCHWARTZ, 2011; SILVA, 2012).

Kriz e Hegarty (2007) reduzem essa discussão apresentando pelos menos duas abordagens avaliativas sobre a aprendizagem mediada por objetos de visualização: uma focada nas consequências causadas pelo *design*/formato e pelas características dos objetos adotados e outra focada na análise dos efeitos propiciados pelos conhecimentos prévios que os estudantes possuem sobre o conteúdo apresentado. Ambas as abordagens são bastante complementares e utilizadas em alguns trabalhos que avaliam o uso de recursos visuais em ambiente educacionais (SCHEITER et al, 2009; HÖFFLER e SCHWARTZ, 2011).

Essas duas abordagens são relevantes quando as características do material utilizado são variáveis; conforme mencionamos na seção anterior, esse não é o caso deste trabalho, uma vez que os recursos visuais utilizados no ambiente educacional onde coletamos os dados foram especialmente elaborados para o contexto e são imutáveis.

Neste cenário, contudo, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conteúdos estudados são variáveis e esse fator influencia fortemente nos resultados determinando como cada um interage com os recursos visuais (e com as suas características).

Neste trabalho, analisamos inicialmente os conhecimentos prévios dos estudantes na tentativa de extrair **indicativos** a respeito das suas dificuldades de visualização sobre os fenômenos astronômicos básicos. Nossa hipótese é a de que os alunos têm dificuldades de associar distintos tipos de representação visual que são essenciais para a visualização de um determinado fenômeno (essa discussão será fundamentada no próximo capítulo). Em seguida, buscamos avaliar como os alunos evoluem (em função dessas dificuldades identificadas) após o uso dos objetos de visualização adotados.

3 EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA

Neste capítulo apresentamos uma discussão sobre o objeto do conhecimento, o campo da Educação em Astronomia. Destacamos algumas das dificuldades de ensino e de aprendizagem nesta área e apresentamos uma breve revisão bibliográfica acerca das concepções prévias mais comuns encontradas na literatura de pesquisa sobre os temas avaliados. Por fim, buscamos traçar um paralelo com a discussão apresentada no capítulo anterior destacando os tipos de representação visual que foram considerados na investigação proposta.

3.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM INTRÍNSECAS EM ASTRONOMIA

O ensino de Astronomia é um contexto particularmente interessante, pois essa é uma área da ciência fortemente observacional onde o céu pode ser utilizado com um laboratório. Todavia, não necessariamente, o nosso ponto de vista facilita a compreensão dos fenômenos que observamos.

Ocorre que, nesse domínio, as escalas de tamanho e distância são extremamente grandes e torna-se difícil para um observador situado na superfície da Terra compreender o que de fato está acontecendo no céu. Não obstante, as observações do nosso referencial foram a base para explicações equivocadas sobre a natureza do cosmos que prevaleceram por centenas de anos. Além disso, as escalas de tempo também são geralmente muito maiores do que a de outros fenômenos do nosso cotidiano. Não sendo possível, por exemplo, observar um ciclo completo de fases lunares em uma semana.

As grandes dimensões envolvidas geram um problema de extrema relevância para o ensino e a aprendizagem de Astronomia. Diversos trabalhos relatam as dificuldades de professores e de alunos em explicar os fenômenos mais básicos como as fases da Lua, as marés, os eclipses solares e lunares, entre outros (CANALLE, 2003; KRINER, 2004; SCARINCI e PACCA, 2006; PINTO, FONSECA e VIANA, 2007; AGUIAR, BARONI e FARINA, 2009; GOMIDE e LONGHINI, 2017). Em muitos casos, esses resultados são associados à falta de habilidade de abstração dos indivíduos e/ou a dificuldades de mudança de perspectiva.

As dificuldades de integração de diferentes pontos de vista resultam, muitas vezes, numa compreensão fragmentada da maior parte dos tópicos estudados pelos alunos. Gomide e Longhini (2017) identificam, por exemplo, as dificuldades de estudantes do ensino fundamental em transitar entre distintos referenciais para explicar a existência dos dias e das noites. Os autores categorizam os modelos apresentados pelos alunos sobre a explicação para o fenômeno em função da transição entre dois distintos referenciais, o local e outro privilegiado onde se pode observar os movimentos envolvidos em sua totalidade. Ao fazerem essa consideração encontram pelo menos três tipos de situação: 1- Alunos que não conseguem transitar entre os referenciais adotados – mediante a diferentes perspectivas não mudam suas explicações (casos em que os alunos utilizam apenas argumentos do referencial local), 2- Alunos que transitam de forma aleatória – alunos que percebem que a mudança de perspectiva altera os argumentos, mas não conseguem fazê-la, 3- Alunos que transitam entre os referenciais adotados e explicam de forma não totalmente coerente, mas coesa, aquilo que observam no referencial local e aquilo que está ocorrendo numa perspectiva à distância.

A dificuldade com mudanças de perspectiva também é encontrada em pesquisas que avaliam os conhecimentos de pessoas que já passaram por processos de formação. É o caso de professores que não conseguem imaginar, quando situados num referencial fora da Terra, pessoas “de cabeça para baixo” sobre o polo sul (PINTO, FONSECA e VIANA, 2007).

As mudanças de ponto de vista exigidas para a explicação de um determinado fenômeno impõem uma dificuldade intrínseca à visualização interpretativa daquilo que estamos acostumados a observar a partir de uma única perspectiva. Isso fica ainda mais evidente quando aumentamos o grau de complexidade daquilo que se quer explicar ou entender. Aguiar, Baroni e Farina (2009), por exemplo, apresentam as dificuldades de professores universitários em imaginar a órbita lunar em torno do Sol a partir de um referencial heliocêntrico. Ocorre que a figura que melhor descreve o movimento lunar visto desta perspectiva apresenta sempre a concavidade voltada para o Sol em oposição àquilo que comumente se imagina (concavidade em alguns momentos voltada pra Terra), uma vez que a Lua também descreve um movimento ao redor do nosso planeta.

Esses trabalhos ilustram também que, geralmente, as pessoas possuem ideias prévias sobre os conceitos as quais podem estar em desacordo com os modelos científicos. Muitas vezes elas podem se constituir como uma resistência ao aprendizado dos modelos que se quer ensinar ou até mesmo serem decorrentes da observação deles (ENGESTRÖM, 1991; CANALLE, 2003; LELLIOT e ROLLNICK, 2010). Na seção seguinte, apresentamos uma discussão sobre esse assunto.

3.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS EM ASTRONOMIA

Há um consenso nas pesquisas em educação de que os alunos trazem consigo conhecimentos iniciais sobre muitos dos assuntos a serem discutidos em sala de aula. Todavia, não existe uma única terminologia adotada para esses conhecimentos sendo comumente chamados de “concepções alternativas”, “concepções prévias”, “formas espontâneas de raciocínio”, “concepções espontâneas”, entre outros termos, dependendo do referencial teórico escolhido (PIETROCOLA e ZYLBERSZTAJN, 1999; READ, 2004; VIENNOT, 2009). Adotamos o termo concepções prévias, o qual não carrega consigo uma conotação negativa sobre os conhecimentos trazidos pelos alunos para a sala de aula (GILBERT e ZYLBERSZTAJN, 1985).

Há um levantamento bastante robusto sobre os conhecimentos prévios mais comuns apresentados pelos estudantes sobre tópicos de Astronomia (LANGHI, 2011). Numa avaliação de aprendizagem é importante levar em consideração os trabalhos que já se dedicaram em fazer esse levantamento, pois auxilia na identificação das dificuldades previamente apresentadas pelos estudantes, muitas delas, associadas ao problema discutido na seção anterior. Nesse sentido, apresentamos a seguir uma revisão bibliográfica relativa aos temas que são objeto desta pesquisa.

3.2.1 Movimentos da Lua (rotação síncrona)

É bastante comum os estudantes acreditarem que a Lua não possui movimento de rotação em (torno de si) e que esse fato seja utilizado para a

explicação da observação a partir da Terra da mesma face lunar (ZEILIK, SCHAU e MATTERN, 1998; TRUMPER, 2001; LANGHI, 2011).

A mesma observação é também geralmente associada a uma sincronia entre os movimentos de rotação da Terra e da Lua. Essa concepção prévia é encontrada em diversas pesquisas e aparece como a mais frequente explicação para a existência de uma face oculta da Lua (nunca vista do referencial terrestre) e outra sempre voltada para a Terra (BARRIER, 2010; LANGHI, 2011; VARELA-LOSADA et al, 2015; KANLI, 2015; TÜRKMEN, 2015).

Zeilik, Schau e Mattern (1998) identificam que apenas 10% num universo de 228 alunos de um curso de astronomia universitário respondem corretamente quando questionados sobre a possibilidade de a Lua possuir movimento de rotação. Os alunos que participaram desse estudo são oriundos de diversos cursos de nível superior.

Trumper (2001) analisa concepções prévias de 448 estudantes com idades de 13 a 15 anos e que nunca haviam estudado conteúdos de Astronomia. Quando questionados sobre a explicação para o fato de observarem sempre a mesma face da Lua, 25% deles apresentam respostas cientificamente aceitas, enquanto 54% respondem que a explicação para o fenômeno é o fato de a Lua não possuir rotação ao redor do seu próprio eixo.

Varela-Losada et al (2015) analisam as concepções prévias de 145 estudantes universitários espanhóis dos cursos de formação de professores do ensino primário e do ensino infantil a partir de questões de múltipla escolha. Quando questionados sobre a explicação para a visualização da mesma face da Lua a partir do referencial da Terra, 51% escolhem a opção de que a Lua não gira sobre o seu eixo, enquanto 29% assinalam que a Lua gira ao redor do seu eixo uma vez ao dia. Apenas 14% escolhem a opção (considerada correta) de que a Lua gira ao redor do próprio eixo aproximadamente uma vez ao mês.

Türkmen (2015) investiga as concepções prévias de 270 estudantes turcos do 5º ano do ensino fundamental, utilizando inicialmente a mesma questão de múltipla escolha da pesquisa mencionada acima. Ele também encontra as duas concepções prévias: a Lua sem rotação e a Lua com rotação ao redor do seu eixo uma vez ao dia. O autor selecionou posteriormente 45 estudantes que

demonstraram desempenho abaixo da média para analisar as suas justificativas. Nesse refinamento, encontra três tipos de justificativas: 1- A Lua sem rotação: numa mesma localidade da Terra o que se vê é sempre a mesma face da Lua, mas as outras faces podem ser vistas de outras localidades/cidades. 2- A Lua com rotação ao redor do seu eixo uma vez ao dia: visualiza-se sempre a mesma face da Lua. 3 – A Lua sem rotação: não é possível ver o outro lado da Lua durante o dia por causa da luz; pode-se vê-la apenas a noite.

As concepções da Lua sem rotação e da Lua com rotação ao redor do seu eixo e com período idêntico ao da rotação da Terra também são identificadas no âmbito desta pesquisa. No Capítulo 6, destacamos outras duas concepções que estão associadas com o fato dos alunos discordarem da observação da mesma face lunar a partir da perspectiva terrestre.

3.2.2 Fases da Lua

A explicação para a ocorrência das fases lunares é comumente confundida com a explicação científica para os eclipses (ENGESTRÖM, 1991; CAMINO, 1995; TRUMPER, 2001; KRINER, 2004; LELLIOT e ROLLNICK, 2010). Isto porque muitos estudantes associam os lados iluminados e não iluminados da Lua vistos da Terra com a passagem dela pela sombra provocada pelo nosso planeta.

O plano orbital lunar possui uma inclinação em relação à eclíptica (plano orbital da Terra em torno do Sol) de cerca de 5° e os eclipses só ocorrem quando ela passa sobre a interseção desses planos.

Tal associação incorreta pode ser decorrente de modelos visuais sobre o assunto que apresentam uma perspectiva única das posições relativas entre Terra, Sol e Lua e/ou que não fazem uma discussão sobre as idealizações dos tamanhos dos astros e das distâncias entre eles representados (ENGESTRÖM, 1991; LELLIOT e ROLLNICK, 2010).

Outras explicações recorrentes para as fases lunares as associam às nuvens que cobrem a Lua, à sombra produzida pelo Sol ou à sombra produzida pelos planetas do Sistema Solar (KRINER, 2004).

3.2.3 Estações do ano

Dentre os conhecimentos prévios sobre o tema estações do ano, aquele que é mais recorrentemente mencionado na literatura de pesquisa é a ideia de que elas são explicadas pela proximidade e pelo afastamento entre a Terra e o Sol ao longo do ano (TRUMPER, 2001; BARRIER, 2010; LELLIOTT e ROLLNICK, 2010; SOBREIRA, 2010; LANGHI, 2011; SABOTA e SOBREIRA, 2011; LANGHI e NARDI, 2012; TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016; SANZOVO, 2017).

Muitos trabalhos também evidenciam o fato de que é comum as pessoas imaginarem a órbita da Terra ao redor do Sol como uma elipse com exagerada excentricidade, o que está de acordo com a ideia da variação de distância Terra-Sol (CAMINO, 1995; CANALLE, 2003; BARRIER, 2010; SOBREIRA, 2010; SABOTA e SOBREIRA, 2011; LANGHI e NARDI, 2012; TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016). Canalle (2003), por exemplo, destaca os resultados de uma questão de múltipla escolha utilizada na IV Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA) em 2001 onde a ampla maioria dos alunos escolheu a elipse mais excêntrica dentre as opções existentes (Figura 2). Não obstante, após a divulgação dos resultados muitos professores questionaram o gabarito da questão, revelando que o entendimento equivocado sobre a forma da órbita terrestre ao redor do Sol não é exclusividade dos estudantes.

Na Figura 2, a elipse pintada em azul representa corretamente como é a órbita terrestre ao redor do Sol sem efeito de perspectiva.

Além disso, é importante frisar, assim como consta na observação da questão da OBA (Figura 2), que o conhecimento que as pessoas em geral têm sobre a forma da órbita terrestre deriva de modelos visuais geralmente presentes em recursos didáticos. Ocorre que os modelos curriculares clássicos que possibilitam a observação de uma única perspectiva na qual a elipse se torna demasiadamente excêntrica podem fornecer um “empréstimo” indesejável, sendo assim, relevantes para a visualização incorreta de que a variação de distância da Terra ao Sol é a explicação para a existência das estações do ano (CANALLE, TREVISAN e LATTARI; 1997; CANALLE, 2003; SWELLER, 2008; SOBREIRA, 2010; VAVRA et al, 2011; LANGHI e NARDI, 2012; TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016).

Figura 2 - Questão da IV OBA sobre o formato da órbita terrestre. A primeira figura da esquerda para direita que está pintada em azul claro é a que contém as respostas corretas aos itens “a)” e “b)”, o ponto representa a correta localização do Sol.

Questão: Você sabe que toda vez que faz aniversário é porque se passou mais um ano para você, certo? Isto significa que o planeta Terra deu mais uma volta ao redor do Sol desde o seu último aniversário. Muito bem, esperamos que você já tenha estudado a forma do movimento da Terra ao redor do Sol. Uma das figuras abaixo é a que melhor representa o movimento da Terra ao redor do Sol.

a) Pinte (de qualquer cor) a figura que na sua opinião melhor representa o movimento da Terra ao redor do Sol.

b) Na figura que você escolher no item (a) desenhe o Sol (basta fazer um ponto) no lugar que melhor representa o lugar que ele deve ocupar.

Observação: Não existe nenhum efeito de perspectiva nas figuras. Outra coisa: infelizmente existem muitos livros que ilustram de forma errada o movimento da Terra ao redor do Sol. Esperamos que você não tenha estudado em um livro com esse problema.

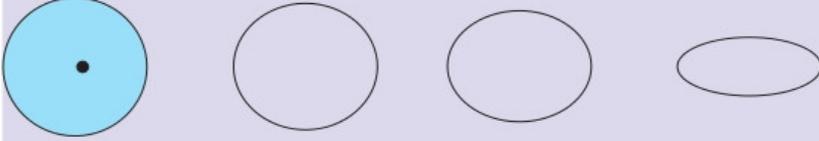


Figura 2. Elipses usadas na questão 5, na prova nível I (1ª à 4ª série) e a mesma questão, mas de número 7, na prova de nível II (5ª à 8ª série), da IV OBA.

Fonte: Canalle (2003).

De acordo com Varela-Losada et al (2015), que analisam as concepções prévias de estudantes universitários espanhóis, quando questionados sobre a explicação para a existência das estações do ano, 64% assinalam a opção considerada correta de que o eixo de rotação da Terra é inclinado em relação ao plano orbital. Em contrapartida, 29% assinalam a opção associada à variação de distância entre a Terra e Sol. Os autores aplicam também uma questão muito semelhante àquela utilizada na OBA (CANALLE, 2003) e identificam que uma parcela muito pequena de 6% adota o modelo considerado correto, enquanto 63% escolhem a opção que representa uma elipse muito excêntrica.

Camino (1995) investiga os conhecimentos apresentados por professores a respeito das estações e de outros temas através de questionários e entrevistas. Dentre as explicações mais recorrentes, uma delas é muito semelhante ao que foi encontrado mais recentemente por Varela-Losada et al (2015). Alguns professores indicam que a forma do movimento orbital é bastante excêntrica, mas utilizam como argumento para as estações do ano, principalmente, a inclinação do eixo de rotação, indicando uma explicação internamente incoerente. Também foram encontradas pelo

autor outras explicações associadas à variação de distância Terra-Sol. Em algumas situações o autor destaca uma mescla de distintos modelos explicativos para o fenômeno.

Parker e Heywood (1998) analisam os conhecimentos apresentados por estudantes de graduação, de pós-graduação e por professores. Eles identificam pelo menos dois modelos os quais chamaram de “modelo de distância” e da “Terra cambaleante” (SABOTA e SOBREIRA, 2011). O “modelo de distância” está associado com a aproximação e o afastamento entre a Terra e o Sol ao longo do ano, enquanto o modelo da “Terra cambaleante” se refere à ideia de que o eixo de rotação terrestre oscila ao longo do movimento orbital, ora apontando numa direção e ora na direção contrária. Os autores destacam também casos que demonstram utilizar a órbita excêntrica e o eixo inclinado como fatores que se combinam para explicar o fenômeno.

Na próxima seção buscamos traçar um paralelo entre esses trabalhos no campo da Educação em Astronomia e as pesquisas que têm como foco a visualização no ensino das ciências.

3.3 VISUALIZAÇÃO E O ENSINO DE ASTRONOMIA

No capítulo anterior a discussão se referia à visualização no ensino das ciências de modo geral. No entanto, quando olhamos para a área como um todo, a amplitude de fenômenos da natureza estudados é enorme e surge a necessidade de se levar em consideração as especificidades existentes para cada campo do conhecimento.

No caso da Química, por exemplo, há um grupo de autores que vêm defendendo a importância de fornecer auxílio aos estudantes na construção de imagens mentais e na visualização de pelos menos três níveis ou tipos de representação visual denominadas como submicro, macro e simbólico (GILBERT, 2008; 2010; MNGUNI, 2014; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014). O primeiro tipo se refere às entidades que não são observáveis com um microscópio ótico (átomos, moléculas, e outros), o segundo se refere às entidades observáveis no cotidiano (escala macroscópica) e o último se refere aquelas que são descritas com uso de

letras ou sinais (sinais para representar carga elétrica, letras que representam elementos químicos, por exemplo). Sendo assim, a compreensão e visualização de conceitos desta área dependeria da capacidade dos indivíduos em transitar entre esses distintos tipos de representação visual.

A visualização de uma reação química qualquer, por exemplo, envolveria a transição entre esses três tipos de representação visual: aquilo que é observado no laboratório (macro), os modelos curriculares ilustrando átomos e/ou moléculas (submicro) e os símbolos e equações que representam a referida reação (simbólico).

A maior parte dos trabalhos sobre visualização estão focados nas especificidades que envolvem esses três tipos de representação visual mencionados (GILBERT, 2008; 2010; MNGUNI, 2014; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; VAVRA et al, 2011). Por isso, entendemos a necessidade dentro desta perspectiva teórica de se pensar nas especificidades do nosso objeto do conhecimento, a Astronomia. Gilbert (2010), por exemplo, sugere que se faça isso para as diversas áreas do conhecimento e que sejam consideradas para cada uma delas as suas próprias especificidades.

Conforme mostramos nas seções anteriores, muitos trabalhos no campo da Educação em Astronomia evidenciam as dificuldades que as pessoas possuem em mudar de perspectiva e/ou de integrar as informações provenientes dos modelos visuais curriculares com aquilo que se experimenta no dia-a-dia a partir do ponto de vista da Terra (CAMINO, 1995; PARKER e HEYWOOD, 1998; PINTO, VIANA e FONSECA, 2007; AGUIAR, BARONI e FARINA, 2009; GOMIDE e LONGHINI, 2017).

Para facilitar a discussão chamaremos a perspectiva terrestre/geocêntrica de “local” enquanto aquelas adotadas para facilitar a observação de um fenômeno específico comumente apresentada nos modelos curriculares será chamada de “global”. Geralmente, o objetivo desta última é o de simular um ponto de vista à distância suficiente para que todos os corpos envolvidos num determinado fenômeno sejam observados por completo.

É importante ressaltar que não é o nosso objetivo, neste trabalho, propor **os** tipos de representação visual que envolvem os processos de ensino e de aprendizagem em Astronomia. O que fazemos é tomar essa discussão teórica como subsídio para destacar **alguns** tipos de representação visual que se referem às

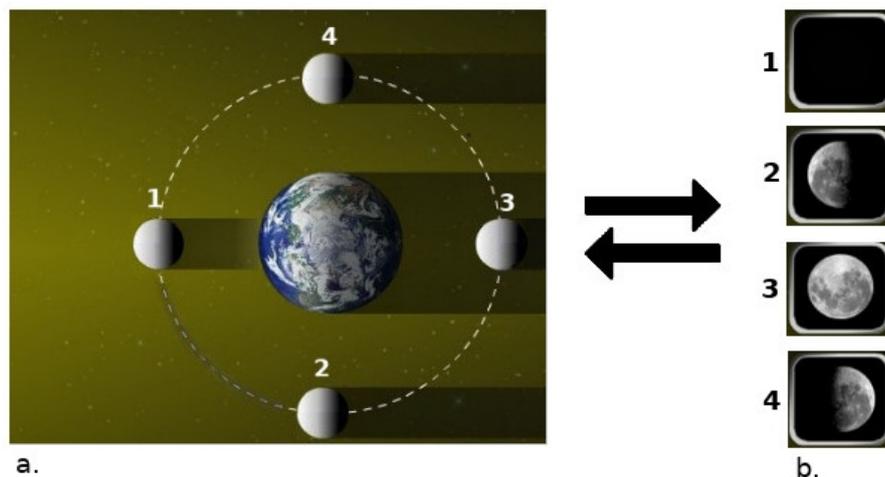
perspectivas as quais assumimos serem essenciais para a visualização de tópicos específicos desta área.

Apresentamos a seguir aqueles(as) que assumimos serem minimamente fundamentais para que haja uma visualização coerente e correta dos temas avaliados no âmbito deste trabalho.

3.3.1 Movimentos e fases da Lua

No caso das fases, a visualização da explicação para o aspecto lunar (partes iluminadas e/ou não iluminadas) que observamos da superfície da Terra - perspectiva local (Figura 3b) – envolve, pelo menos, a transição para outra perspectiva onde é possível observar as posições relativas entre a Terra, a Lua e o Sol (ou a direção e o sentido dos raios solares) - perspectiva global (Figura 3a).

Figura 3 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) ilustra quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.



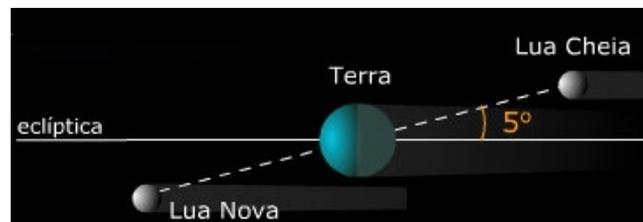
Fonte: adaptação de modelo obtido em:
http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalu/_index_portugues.html.

É importante ressaltar que dentre as diversas simplificações que estamos considerando, a transição entre pontos de vista ilustrada na Figura 3 se refere especificamente à configuração observada do hemisfério sul (Figura 3b). Essa é

também uma idealização e o seu propósito é reduzir a complexidade da discussão, pois o aspecto de uma determinada fase varia em função da latitude do observador na superfície da Terra.

Independentemente da simplificação considerada, faz-se necessário também a observação do fenômeno a partir de um terceiro ponto de vista no qual é possível observar que a órbita lunar não coincide com o plano orbital da Terra ao redor Sol (eclíptica). Isto porque é desta perspectiva que podemos perceber o porquê de não ocorrerem eclipses lunares sempre que a Lua se encontra na fase cheia, por exemplo (Figura 4).

Figura 4 - Um modelo (visual) curricular (fora de escala de distância) ilustra de outra perspectiva que o plano orbital da Lua (tracejado) possui um ângulo de 5° em relação à eclíptica (plano orbital da Terra).

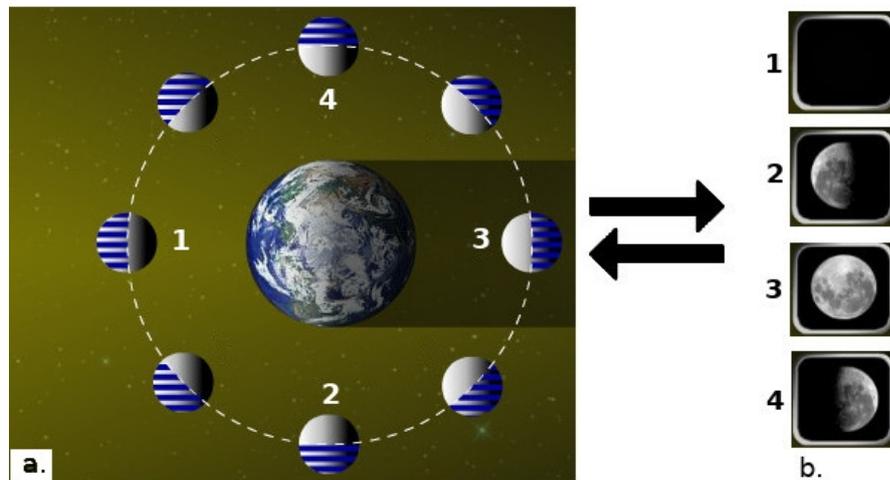


Fonte: adaptação de modelo obtido em: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalu/_index_portugues.html.

A representação visual ilustrada pela Figura 4 é relevante para a visualização das fases, principalmente porque é comum os estudantes associarem a sua explicação com a passagem da Lua pela sombra projetada pela Terra, que seria a explicação do eclipse lunar (ENGESTRÖM, 1991; KRINER, 2004).

No que se refere aos movimentos lunares (de rotação e de translação síncronos), as mesmas perspectivas ilustradas na Figura 3 estão envolvidas. Ou seja, a visualização do fato de que a Lua apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra envolve a transição para uma perspectiva global onde se pode observar os movimentos lunares de rotação (em torno de si) e de translação em torno da Terra (Figura 5).

Figura 5 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), diferentes aspectos da mesma face da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.



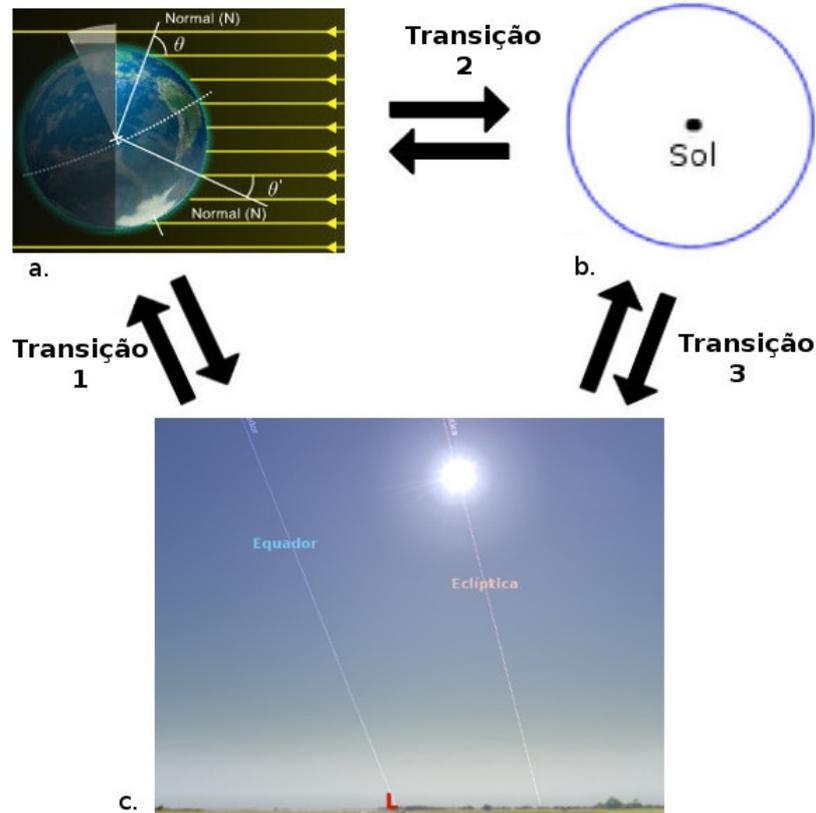
Fonte: adaptação de modelo obtido em:
http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/_index_portugues.html.

No caso da visualização da face da Lua voltada para a Terra há uma sobreposição de outro fenômeno, a fase lunar (Figura 5). Isto faz com que a face lunar que sempre está voltada para a Terra apareça mais ou menos iluminada de acordo com a fase para um observador na superfície terrestre. Essa sobreposição pode confundir os alunos na hora de buscar uma explicação para a rotação síncrona lunar ou para as fases. Mostraremos no Capítulo 6 que há estudantes que confundem as explicações desses fenômenos nos dois casos. Ou seja, quando questionados sobre a explicação para as fases associam ela à rotação lunar ou quando questionados sobre a observação da mesma face lunar usam as fases como exemplo contrário.

3.3.2 Estações do ano

A explicação para as estações do ano envolve pelo menos três tipos de representações visuais destacadas na Figura 6.

Figura 6 - Em (a) um ponto de vista fora da Terra e sobre o plano orbital (eclíptica). Em (b) uma representação global ilustra a órbita terrestre sem perspectiva à distância (vista “de cima” ou “de baixo”). Em (c) o plano orbital (eclíptica) e a linha do Equador projetadas no céu do hemisfério sul.



Fonte: (a) imagem retirada de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>. (b) imagem adaptada de Canalle (2003). (c) imagem retirada do software Stellarium.

Sendo assim, a visualização desse fenômeno envolve pelo menos a transição e a integração de informações que seriam observadas a partir desses distintos pontos de vista.

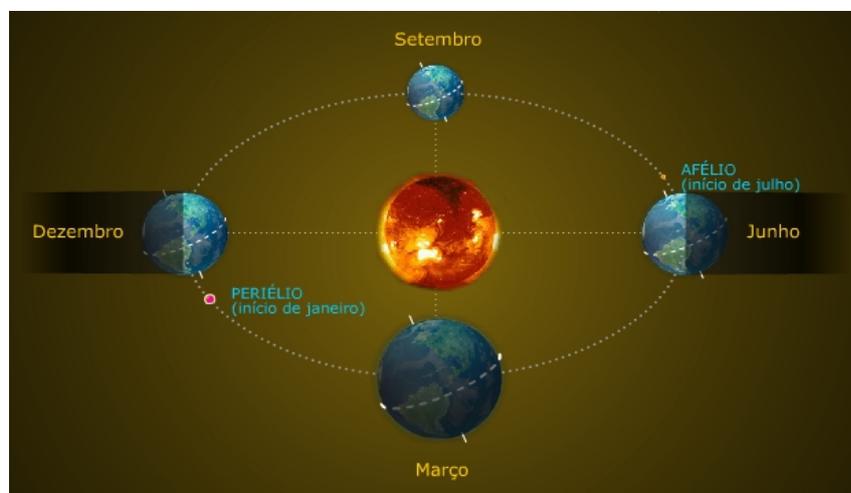
Geralmente muitas dessas informações são apresentadas em modelos curriculares elaborados para auxiliar no ensino do assunto. Portanto, um observador numa localidade específica na superfície da Terra deveria associar corretamente a variação do caminho aparente que o Sol faz no céu (o que gera dias mais longos no verão do que no inverno¹, por exemplo) com a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano orbital - chamamos essa mudança de perspectiva de Transição 1. Além disso, é importante que ele faça também uma correta associação entre essa

¹ Essa constatação observacional é mais perceptível para observadores localizados em latitudes maiores.

inclinação e o próprio movimento orbital onde é possível visualizar as posições relativas entre o Sol e a Terra ao longo do ano e, ao mesmo tempo, visualizar que um hemisfério ficará mais exposto aos raios solares do que o outro em determinados momentos – denominamos essa passagem de Transição 2.

A maior parte dos modelos curriculares elaborados para tratar desse tema está focada em apresentar para os alunos uma representação visual da Transição 2. A Figura 7 a seguir ilustra um exemplo de modelo curricular clássico elaborado para auxiliar na visualização dessa referida transição.

Figura 7 - Modelo curricular “clássico” sobre o tema estações do ano. Uma representação visual da Transição 2. Neste caso, visto “de lado” - desta perspectiva a órbita fica alongada (muito excêntrica). O modelo está fora de escala de tamanho e de distância.



Fonte: Imagem estática de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>.

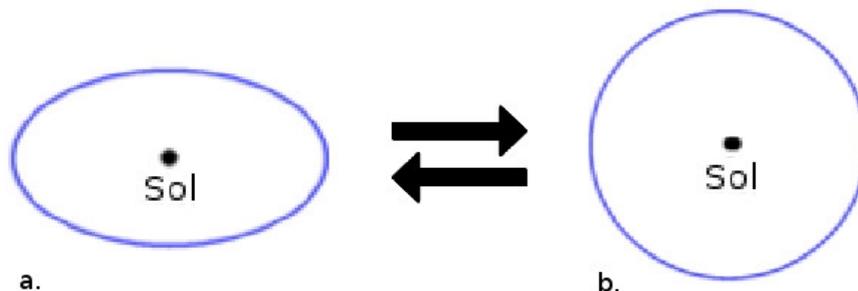
O modelo curricular (Figura 7) destaca o eixo de rotação inclinado em relação ao plano orbital em distintas posições ao longo do ano (com o intuito de ilustrar que um hemisfério ficará mais exposto do que o outro em determinados períodos).

A ideia da “Terra cambaleante” destacada por Parker e Heywood (1998), por exemplo, ilustraria uma dificuldade dos estudantes de fazer essa transição, ou seja, de visualizar como o eixo de rotação terrestre está orientado conforme a Terra faz o seu movimento de translação ao redor do Sol.

Por fim, o indivíduo precisa associar corretamente aquilo que ele observa do referencial terrestre com aquilo que ele imagina ser a forma orbital do movimento de translação. A Transição 3 representa o reconhecimento, por exemplo, de que o diâmetro aparente do Sol não muda significativamente ao longo do ano, pois a órbita do planeta em torno da estrela é pouco excêntrica (pouco achatada).

Portanto, essa última mudança de perspectiva envolve conhecimentos acerca da geometria do movimento orbital da Terra ao redor do Sol. Dela decorre também a constatação de que a variação de distância Terra-Sol ao longo do ano é muito pequena e não explica as estações do ano (DIAS e PIASSI, 2007). Além disso, essa transição está associada à percepção de que existe um efeito de perspectiva nos modelos curriculares clássicos como aquele apresentado na Figura 7 onde a órbita da Terra é vista “de lado” (Figura 8).

Figura 8 - Em (a) a órbita da Terra vista “de lado” aparenta ser uma elipse com grande excentricidade – a maioria dos alunos acredita que essa seja a real descrição da órbita terrestre. Em (b) uma representação fidedigna da órbita terrestre vista “de cima” ou “de baixo”.



Fonte: Adaptação de Canalle (2003).

A Figura 8 destaca a necessária percepção por parte dos estudantes de que a forma da órbita representada está associada com o ângulo de visada, ou seja, uma vez fixada a distância da qual nos imaginamos do Sol (o suficiente para ver toda a órbita) poderíamos visualizar a Terra descrever elipses com distintas excentricidades dependendo do ângulo formado entre nossa posição e o plano orbital (CANALLE, 2003; SCARINCI e PACCA, 2006).

No próximo capítulo apresentamos o contexto onde a pesquisa foi realizada e destacamos os objetos de visualização que se propõem a auxiliar os estudantes na visualização dos fenômenos astronômicos básicos avaliados neste trabalho. De

modo geral, esses objetos fornecem suporte para todas as transições destacadas acima.

4 CONTEXTO DA PESQUISA

Neste capítulo apresentamos o ambiente real de aprendizagem onde a pesquisa foi realizada. Destacamos algumas das características desse ambiente e apresentamos também os materiais didáticos utilizados como objetos de visualização em uma das suas unidades. Esta unidade se dedica ao estudo de fenômenos astronômicos básicos.

4.1 A DISCIPLINA

O ambiente real de aprendizagem é uma disciplina componente da grade curricular do Curso de Ciências Matemáticas e da Terra da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trata-se de uma disciplina obrigatória do primeiro período oferecida no formato semipresencial, com um número significativo de alunos ingressantes por semestre (são 140 vagas por período). Ela é responsável pelo primeiro contato dos alunos recém ingressantes na universidade com o estudo da Física e foi criada especificamente com o objetivo de auxiliar na superação de dificuldades de aprendizagem observadas nas disciplinas de Física básica tradicionais com a inclusão de tópicos que os estudantes geralmente apresentam dificuldades no ensino médio.

O período de duração é de dois meses e a carga horária é distribuída de tal forma que os alunos têm quatro horas semanais de atividades presenciais em sala de aula e outras quatro horas previstas de atividade a distância que envolvem a realização de experimentos com monitores em laboratório e acesso a textos e materiais hipermídia acessíveis num ambiente virtual de aprendizagem (SILVA e BARROSO, 2008).

A sequência didática durante os dois meses envolve três unidades: 1- O modelo geométrico para a Luz (ótica geométrica), 2- Movimentos no Sistema Solar (fenômenos astronômicos básicos) e 3- Movimentos e a sua descrição (cinemática).

Neste recorte estamos olhando para os resultados de aprendizagem que envolvem alguns dos conteúdos da Unidade 2 (U2). A ementa dessa unidade envolve os seguintes temas: visão geral do Sistema Solar (O Sol, os planetas e as

suas características), movimentos da Terra, as fases da Lua, a rotação síncrona da Lua, eclipses (solares e lunares), estações do ano e marés. Os temas que fazem parte do recorte desta pesquisa são: **a rotação síncrona da Lua, as fases lunares e as estações do ano (translação e rotação da Terra)**. Ou seja, foram sobre esses temas que analisamos as representações visuais externalizadas pelos estudantes nos instrumentos de avaliação da U2.

Uma característica pertinente da disciplina é a forma como ocorre a dinâmica dos estudos. Isto porque apesar das quatro horas semanais de atividades presenciais os estudantes têm uma série de atividades para fazer no período disponibilizado para os estudos a distância. Essas atividades são acompanhadas pelo professor da disciplina através da plataforma Moodle (ambiente virtual de aprendizagem). A Figura 9 mostra o roteiro didático referente à U2.

Figura 9 - Imagem estática da tela do Moodle da disciplina onde é possível ver a sequência didática da Unidade 2.

UNIDADE 2 - O modelo para o movimento dos corpos no Sistema Solar

Introdução

1. Assistir ao vídeo "Jornada no Sistema Solar".

Semana 4

Atividades:

2. Responder ao Questionário 2-1.
3. Ler o Texto 1 - sobre Movimentos no Sistema Solar.
4. Ler o Texto complementar - sobre Elipses.

Semana 5

Atividades:

5. Responder ao Questionário 2-2 (de avaliação das leituras e vídeo).
6. Estudar as aulas a seguir clicando nos links abaixo:
 - As fases da Lua
 - Os eclipses
 - Marés
 - Movimentos no sistema solar
7. Assistir ao vídeo "Eclipses Solares" clicando no link (YouTube). (Se o seu navegador não estiver configurado para abrir vídeos automaticamente, clique aqui para baixar o vídeo.)
8. Responder ao Questionário 2-3.
8. Responder ao Questionário 2-4.

(Final da Unidade 2)

- Questionario2-1
- Texto 1 - Movimentos no Sistema Solar
- Texto Complementar - Elipses
- Questionario2-2
- Aula Virtual - Caronte: As Fases da Lua
- Aula Virtual - Caronte: Marés
- Aula Virtual - Caronte: Movimentos da Terra
- Aula Virtual - Caronte: Eclipses
- Vídeo: Eclipses Solares
- Questionario2-3
- Questionario2-4

Fonte: Imagem estática do AVA da disciplina (2013-2016).

É importante ressaltar que a disciplina teve diferentes professores ao longo do período (6 anos) em que coletamos dados, o que implicou no uso de diferentes metodologias, sobretudo, nos momentos presenciais com atividades em sala de aula. O que permaneceu inalterado, nesse período, foram os materiais didáticos disponibilizados no AVA.

Quanto aos materiais didáticos, os *links* que dão acesso a eles estão incluídos na plataforma. Algumas aulas virtuais, por exemplo, estão disponíveis no endereço eletrônico: <http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/index.html>.

O foco deste capítulo é a apresentação e discussão sobre esses materiais didáticos que foram adotados para suprir as dificuldades relacionadas a esses temas. Da discussão teórica do Capítulo 2, estes recursos podem ser entendidos como objetos de visualização. Portanto, a descrição dos instrumentos de avaliação da disciplina (Figura 9) que foram utilizados para a coleta de dados é apresentada no capítulo seguinte.

4.2 OS MATERIAIS DIDÁTICOS UTILIZADOS NA U2

Os recursos didáticos utilizados na U2 são vídeos, textos e aulas virtuais (hipermídia). São eles:

- **Vídeo Jornada pelo Sistema Solar**
- **Texto 1 – Movimentos no Sistema Solar**
- **Texto complementar – Cônicas: A elipse**
- **Aulas virtuais: hipermídia Caronte**
- **Vídeo Eclipses Solares**

O primeiro contato dos estudantes com o tema é feito através da navegação pelo **vídeo Jornada pelo Sistema Solar**, o qual está disponível no YouTube no seguinte endereço: www.youtube.com/watch?v=u_W3r8ffv7M&list=PL206DF09E960888F7.

Uma descrição mais detalhada sobre o contexto de elaboração desse vídeo pode ser encontrado em Barroso e Borgo (2010). Em resumo, como descrevem os

autores “é um vídeo de 30 minutos: literalmente, uma jornada pelos planetas e asteroides que constituem o Sistema Solar”. A viagem promovida é narrada com o uso de legendas onde são apresentadas algumas características de cada componente. O vídeo ilustra inúmeras mudanças de perspectivas relevantes para auxiliar numa visualização abrangente da dimensão do Sistema Solar e das características dos seus astros. Apresenta-se, por exemplo, de um ponto de vista privilegiado (fora do Terra) o movimento de rotação do nosso planeta onde se pode observar com mais facilidade o papel dele na explicação dos dias e das noites. Outra característica também pertinente para o que é avaliado neste trabalho é que o vídeo apresenta o movimento orbital dos planetas de diferentes pontos de vista, incluindo aquele sobre (ou sob) o plano onde é possível perceber a forma “quase circular” das elipses que representam esses movimentos (principalmente dos planetas internos, como a Terra).

Após a interação com o vídeo, os alunos leem o **Texto 1 – Movimentos no Sistema Solar** (Anexo A). No texto há uma discussão sobre algumas das características dos planetas, sobre as três leis de Kepler e, por fim, sobre a lei da Gravitação Universal. Durante a abordagem da segunda lei de Kepler, por exemplo, a discussão enfatiza que as elipses que representam as órbitas dos planetas possuem excentricidades muito pequenas. Ainda sobre esse assunto os alunos têm disponível a leitura de um texto complementar sobre elipses (Anexo B). O **Texto complementar – Cônicas: A elipse**, assim como o Texto 1, não fornece nenhum objeto de visualização de uma elipse pouco excêntrica, no entanto, há um exercício no fim da leitura que pede para que os alunos elaborem uma elipse com a excentricidade equivalente à da órbita terrestre.

Na sequência dos textos, os estudantes devem navegar nas **aulas virtuais** sobre os temas: fases da Lua, marés, movimentos da Terra e eclipses.

Essas aulas virtuais correspondem a uma hipermídia educacional denominada “Caronte”. Uma descrição mais detalhada sobre o contexto de elaboração da hipermídia pode ser encontrada em Silva (2012). Ela foi elaborada com base na Teoria da Carga Cognitiva (TCC) e com o conceito de Objeto de Aprendizagem (OA) de Wiley (2000). De acordo com este autor, OAs são recursos granulares e que podem ser reutilizados em diferentes contextos de aprendizagem.

A hipermídia Caronte, por exemplo, é composta por pequenos objetos denominados Fases da Lua, Movimentos da Terra e Marés; cada um desses temas pode ser entendido como uma hipermídia menor. Estas por sua vez ainda podem ser compostas por partes ainda menores onde são apresentados conceitos individuais. Por exemplo, a hipermídia Fases da Lua é dividida em cinco objetos pequenos denominados A Lua, As Fases, Rotação Síncrona, Os hemisférios e A Lua Com Caras Diferentes. A hipermídia Movimentos da Terra pode ser dividida em quatro partes menores, os objetos Rotação, Translação, Precessão e Nutação.

Por fim, os estudantes devem assistir ao **vídeo Eclipses Solares** que também está disponível no YouTube através do endereço: www.youtube.com/watch?v=gT-hh0c-IIA&t=350s.

Ele foi produzido pelos mesmos autores do vídeo Jornada no Sistema Solar (BARROSO e BORGGO, 2010). Apesar de ser dedicado ao estudo dos eclipses solares, o vídeo promove também uma “viagem” com diversas mudanças de ponto de vista as quais possibilitam uma observação geral sobre o sistema Sol-Terra-Lua de diferentes perspectivas. Diferentemente do vídeo Jornada que apresenta as dimensões do Sistema Solar, ele é dedicado a uma apresentação mais cuidadosa do Sol, da Terra e da Lua e dos seus movimentos relativos.

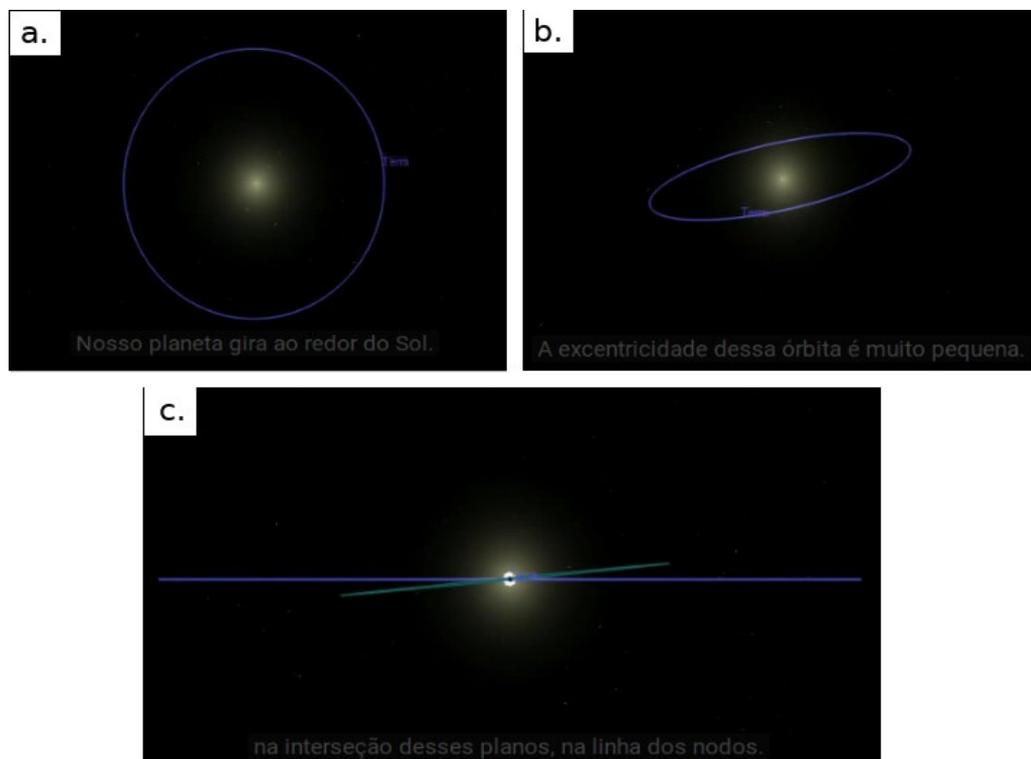
Algumas características mais específicas desse vídeo e dos OAs que compõem a hipermídia Caronte as quais assumimos que possibilitam suporte para a visualização dos temas investigados nesta pesquisa são descritas a seguir. É importante ressaltar que apesar de descrevermos com mais detalhes esses objetos, o material como um todo se constitui numa unidade voltada para dar apoio à visualização dos fenômenos astronômicos básicos. Em muitos aspectos os diferentes formatos são complementares. Os vídeos, por exemplo, apresentam simulações de observações reais do Sistema Solar e do sistema Sol-Terra-Lua, enquanto nas aulas virtuais os conceitos são apresentados de maneira mais orientada através de modelos visuais.

Portanto, não é possível, por exemplo, reduzir os “efeitos” de aprendizagem provocados a um único recorte ou parte específica. O intuito deste detalhamento pode ser entendido como um destaque àquelas partes (muito específicas) onde consideramos que o auxílio para a visualização desses assuntos fica mais evidente.

4.2.1 Vídeo Eclipses Solares

Apesar de ser dedicado à explicação dos eclipses solares, conteúdo que não foi avaliado neste trabalho, o vídeo apresenta várias mudanças de ponto de vista que ilustram, por exemplo, as órbitas da Terra (em torno do Sol) e da Lua (em torno da Terra). Essas mudanças são essenciais tanto para a visualização das fases lunares como das estações do ano, pois possibilitam uma observação ampla dos movimentos relativos entre Sol, Terra e Lua. Algumas delas são ilustradas na Figura 10.

Figura 10 - Imagens estáticas retiradas do vídeo Eclipses Solares. Em (a) a órbita da Terra vista “de cima” ou “de baixo”. Em (b), a mesma vista de outra perspectiva. Em (c) as órbitas da Terra e da Lua vistas por um observador localizado na eclíptica (plano orbital da Terra).



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=gT-hh0c-IIA>.

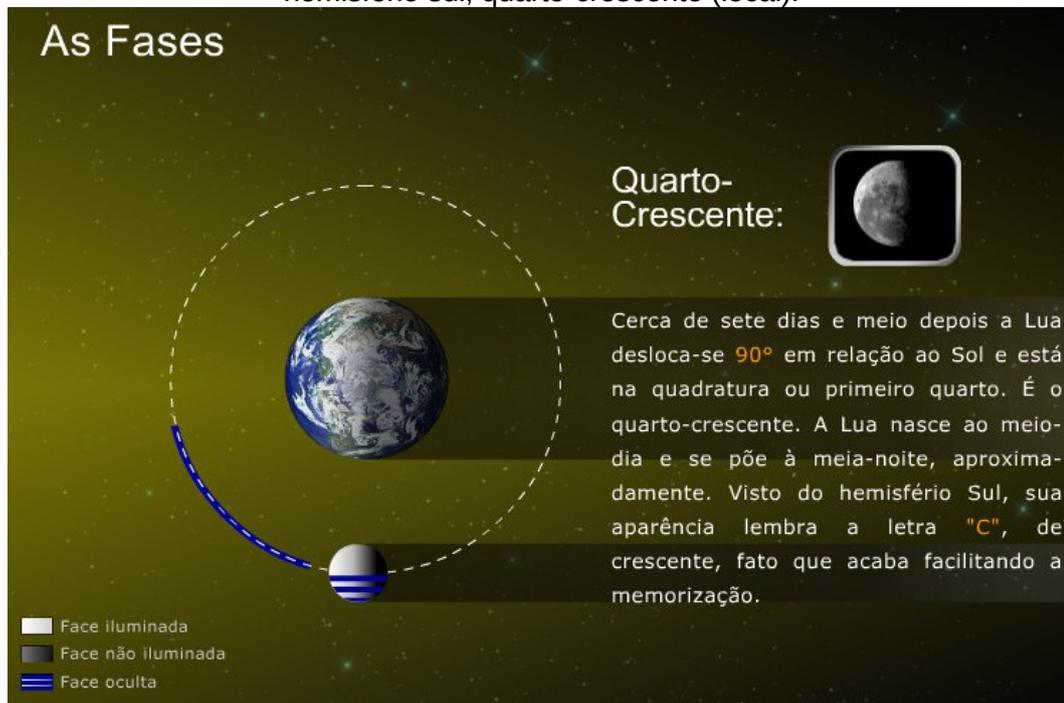
A Figura 10 é composta por uma sequência de três imagens estáticas retiradas do vídeo Eclipses Solares, todas representam perspectivas onde o sistema Sol-Terra-Lua é visto à distância. No entanto, inúmeras outras mudanças relevantes também são apresentadas, incluindo a observação do eclipse solar a partir do

referencial da Terra (local).

4.2.2 Hipermídia Caronte: as Fases da Lua e a Rotação Síncrona

Neste OA componente da hipermídia Caronte são apresentados inicialmente dois tipos de representação visual essenciais para a explicação das fases lunares, o local e o global (Figura 11).

Figura 11 - Imagem estática da hipermídia As Fases ilustrando as posições relativas entre a Lua, a Terra e a direção e sentido dos raios solares (global) e a fase observada no hemisfério sul, quarto-crescente (local).



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdaluaportugues_asfases.html.

Para cada fase principal da Lua observada do hemisfério sul² (cheia, crescente, nova e minguante) são ilustradas através de um modelo visual (global) as posições relativas entre a Lua, a Terra e o Sol (neste caso, a direção e o sentido dos raios solares). Na Figura 11 é ilustrada a configuração da fase quarto-crescente.

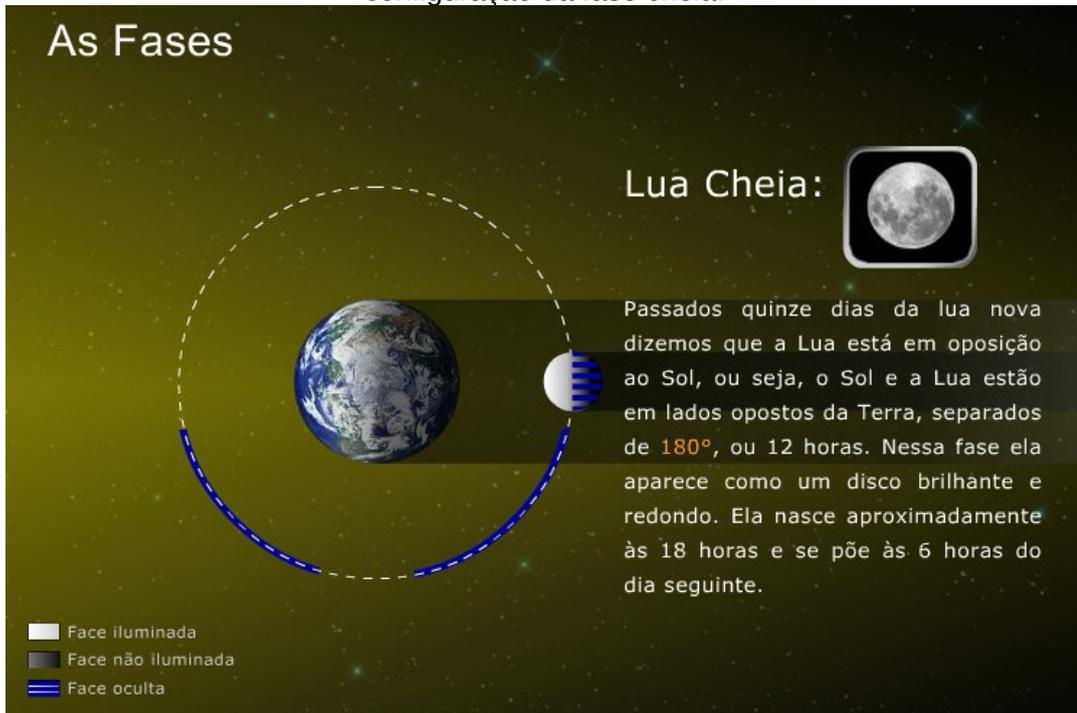
O modelo visual possui algumas idealizações que estão associadas com

² Uma discussão menos idealizada (portanto, mais complexa do ponto de vista da TCC) é apresentada no objeto A Lua Com Caras Diferentes. Nesse objeto é apresentada a forma como vemos as partes iluminadas e não iluminadas da Lua de acordo com a posição do observador na superfície da Terra.

premissas da TCC. Por exemplo, são desprezados o movimento orbital da Terra e da Lua ao redor do Sol e os movimentos de rotação da Terra e da Lua. A Terra é mantida estática e é ilustrado apenas o movimento orbital da Lua ao redor da Terra. O conteúdo apresentado, agora mais enxuto, pois reduz a quantidade de informações que precisam ser processadas simultaneamente canaliza a atenção para a observação das duas perspectivas consideradas essenciais para a visualização do fenômeno. Além disso, com uma convenção de cores são destacadas as faces iluminada, não iluminada e oculta da Lua. Com o objetivo de reduzir carga cognitiva estranha gerada pelo formato do material algumas escolhas foram feitas. Por exemplo, como a dinâmica do movimento de translação da Lua é relevante para a compreensão do fenômeno, o controle da animação pelo aluno pode evitar que as informações essenciais passem num intervalo de tempo menor do que o do seu processamento cognitivo – dessa forma, utiliza-se uma animação interativa onde são apresentadas sequencialmente as quatro fases principais da Lua: nova, quarto crescente, cheia e quarto minguante (SILVA, 2012).

Como o objeto de visualização é bidimensional, nas fases nova e cheia, com um clique sobre a Lua, é possível observar que a Lua não está sendo eclipsada, respectivamente, pela Terra (eclipse lunar) e nem o Sol pela Lua (eclipse solar). A configuração da fase cheia é ilustrada na Figura 12.

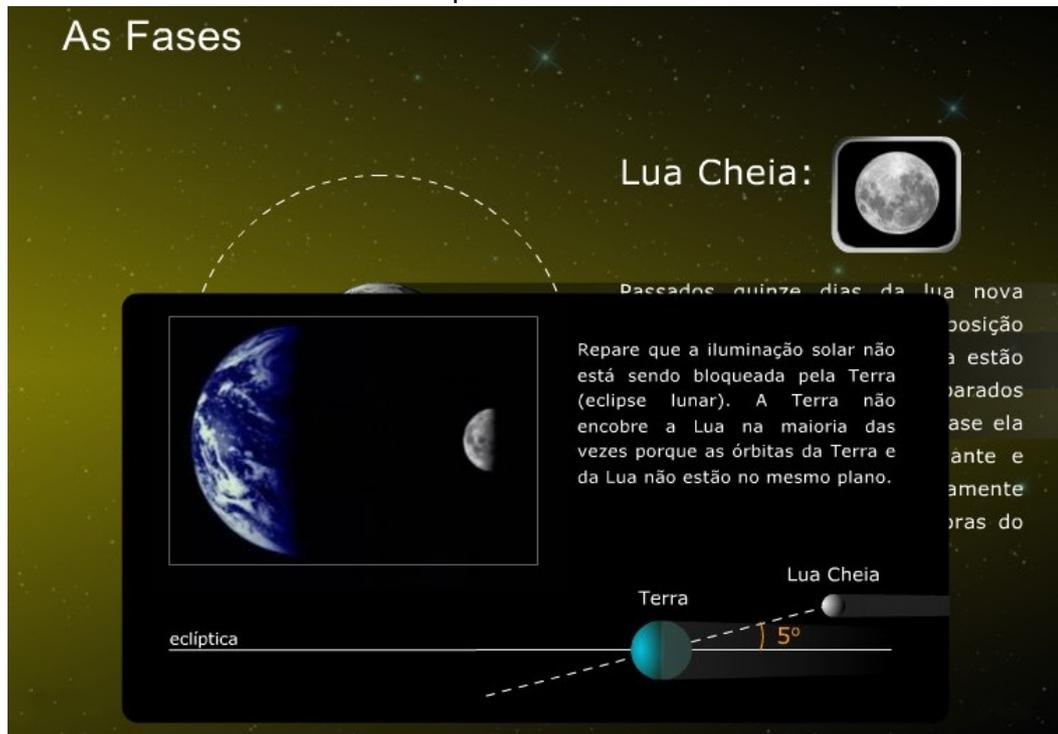
Figura 12 - Imagem estática da hipermídia As Fases (Fases da Lua) mostrando a configuração da fase cheia.



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/portugues_asfases.html.

O clique sobre a Lua na configuração da fase cheia (Figura 12) direciona para a imagem (Figura 13) que ilustra que os planos das órbitas da Lua e da Terra não são os mesmos. Essa observação, também ilustrada no vídeo Eclipses Solares, é essencial no estudo das fases da Lua, pois geralmente elas são confundidas com os eclipses (ENGESTRÖM, 1991; KRINER, 2004).

Figura 13 - Imagem estática que mostra a configuração da fase cheia na perspectiva sobre o plano orbital.

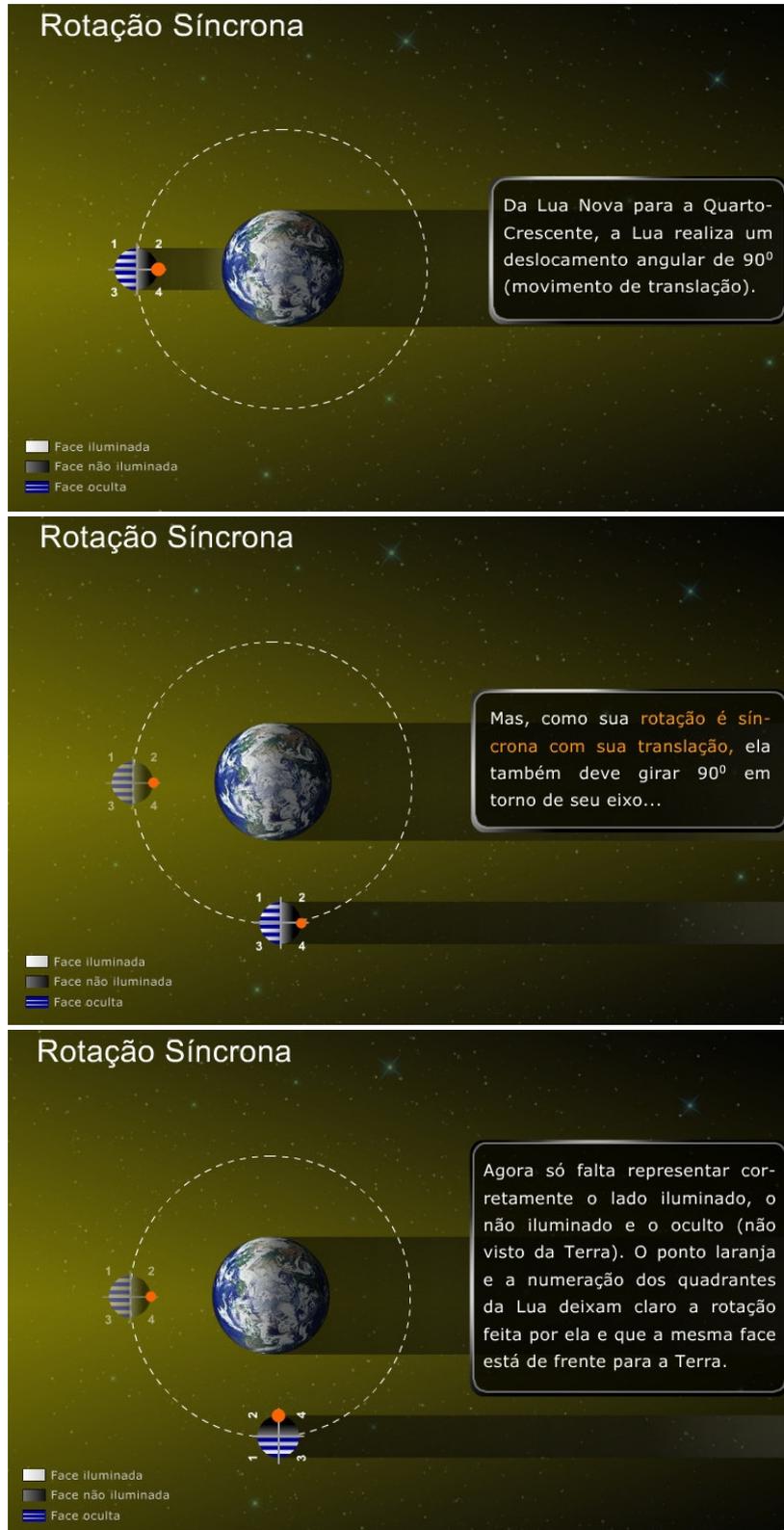


Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/portugues_asfases.html.

A compreensão sobre a rotação síncrona da Lua também depende da observação daquilo que está ocorrendo numa perspectiva global. É bastante difícil do referencial da Terra perceber que um corpo que gira ao redor de si pode sempre mostrar a mesma face para um observador posicionado à sua frente.

O modelo visual apresentado no OA Rotação Síncrona possui as mesmas idealizações sobre os movimentos da Terra, Sol e Lua descritas no objeto anterior. No entanto, o movimento de rotação da Lua é adicionado. Com o objetivo de reduzir cargas cognitivas intrínseca e estranha alguns procedimentos baseados na TCC foram adotados. Por exemplo, os movimentos de rotação e de translação da Lua são desacoplados e apresentados sequencialmente, onde o controle da transição das informações dinâmicas é feito pelos alunos com os botões “voltar” e “avançar”. Esse procedimento metodológico está baseado no fato de que é difícil perceber o movimento de rotação da Lua quando ambos são apresentados simultaneamente, mesmo num modelo visual global como é o caso deste objeto de visualização (Figura 14).

Figura 14 - Sequência de imagens estáticas que mostram os movimentos de translação e de rotação síncronos da Lua.



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/portugues_rotacaosincrona.html.

Segundo a TCC, é importante, de acordo com o princípio do empréstimo, guiar os alunos durante a instrução fornecendo informações iniciais fundamentais para a aprendizagem. Com isso, o modelo visual apresenta um esquema que divide a Lua em quatro quadrantes, todos numerados, e com a face sempre voltada para a Terra destacada (Figura 14).

4.2.3 Hipermídia Caronte: Movimentos da Terra

A discussão sobre a forma da órbita da Terra é apresentada também no OA referente ao movimento de translação. Neste objeto de visualização um modelo visual e um texto destacam a pequena excentricidade da órbita terrestre. Ela é sempre vista numa perspectiva “de cima” (ou “de baixo”), logo o modelo visual apresentado não contém nenhum efeito de perspectiva devido ao ângulo de visada, pois o movimento da Terra é visto com uma linha de visada que é perpendicular ao plano do movimento (Figura 15).

Figura 15 - Imagem estática do OA Translação destacando uma das características desse movimento, a sua forma elíptica.



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/movimentosdaterra/portugues_translacao_home.html.

Além de apresentar as características principais do movimento de translação, o OA também discute algumas das consequências causadas por ele em conjunto com o movimento de rotação (discutido no OA antecessor na sequência didática da hipermídia).

As estações do ano também são discutidas no OA (Translação). Essa discussão é apresentada, inicialmente, através de um modelo visual na forma de uma imagem estática onde é destacada a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra em relação ao plano orbital (Figura 16). O clique sobre o *link* “Duração Desigual dos Dias e Noites” leva a uma discussão sobre esse assunto que é uma consequência daquilo o que modelo visual ilustra. O objeto de visualização fornece auxílio para a visualização do que chamamos no Capítulo 3 de Transição 1.

Figura 16 - Imagem estática do OA Translação destacando uma característica desse movimento, o eixo de rotação é inclinado em relação ao plano da órbita.



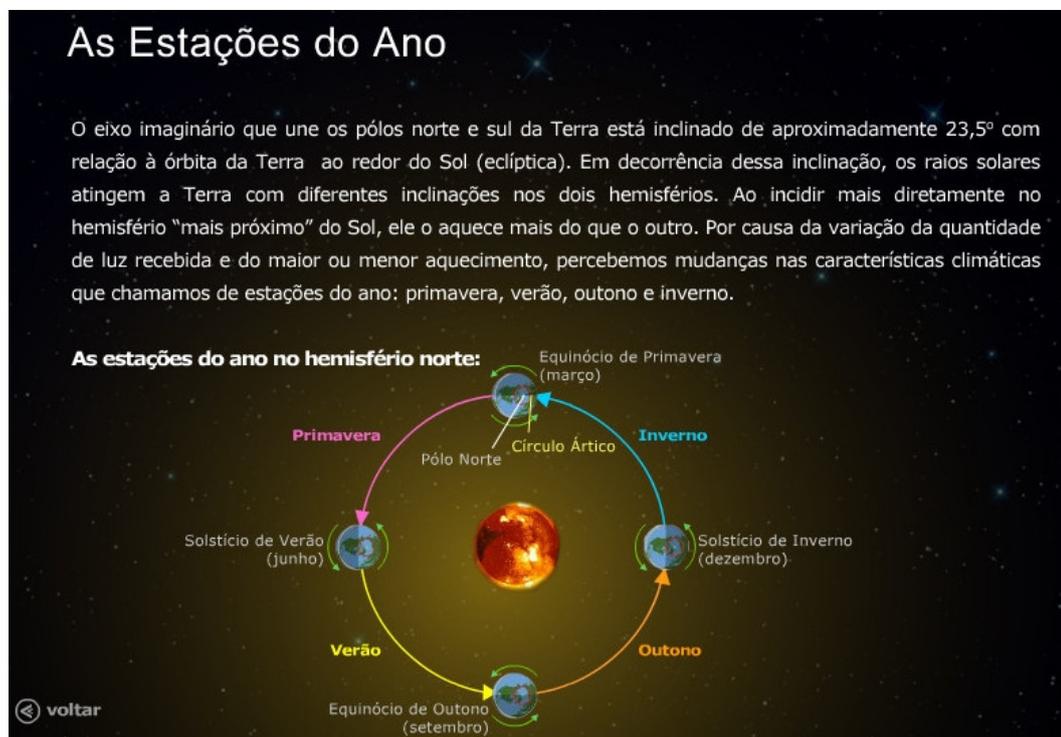
Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/movimentosdaterra/portugues_translacao_consequencias.html.

O clique no *link* “As Estações do Ano” direciona para uma discussão mais específica sobre esse fenômeno. Um texto e um modelo visual apresentam a associação entre o eixo de rotação inclinado (em relação à eclíptica) e o movimento orbital. Esse objeto de visualização simula a observação da órbita terrestre de uma

perspectiva “acima” do polo (Figura 17).

O modelo apresentado fornece auxílio para as duas transições relevantes para a visualização desse fenômeno que destacamos no Capítulo 3, as Transições 2 e 3. Esta, por exemplo, é contemplada pelo fato da distância Terra-Sol ser representada de maneira adequada (devido ao ponto de vista escolhido). Aquela é representada pela Terra em quatro posições distintas e com o eixo de rotação inclinado indicando que um hemisfério fica mais exposto do que o outro em determinados períodos (apesar desse aspecto ser mais difícil de se observar do ponto de vista adotado pelo modelo).

Figura 17 - Imagem estática do OA Translação onde é apresentado um modelo visual para explicar as estações do ano.



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/movimentosdaterra/portugues_translacao_consequencias.html.

Como, neste caso, há diversas informações que precisam ser processadas ao mesmo tempo, o modelo foi apresentado na forma de uma imagem estática, assim como ilustra a Figura 17.

Essas são algumas das características presentes nos recursos visuais adotados na U2 da disciplina que possibilitam suporte para a visualização dos

fenômenos astronômicos avaliados na pesquisa. O objetivo principal deste capítulo foi apresentar e discutir um pouco sobre algumas das potencialidades desses materiais. No capítulo seguinte nosso foco é voltado para uma descrição dos instrumentos de avaliação da U2 e da metodologia deste trabalho.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa utiliza dados coletados num ambiente real de aprendizagem. No capítulo anterior destacamos as suas principais características e os recursos didáticos que são propostos na U2. Neste capítulo, explicamos os procedimentos metodológicos adotados durante as nossas investigações.

A pesquisa pode ser dividida em duas abordagens que foram chamadas de **Procedimentos A e B**.

O **Procedimento A** se refere a uma análise preliminar dos instrumentos de avaliação da disciplina. Essa abordagem envolveu a análise de dados previamente coletados em períodos que antecederam o início da pesquisa, por exemplo. Ela serviu de base para o **Procedimento B** onde foram propostas alterações nos instrumentos de avaliação da disciplina de modo a coletar dados que possibilitassem o desenvolvimento da pesquisa e as investigações referentes às mudanças de perspectivas destacadas no Capítulo 3.

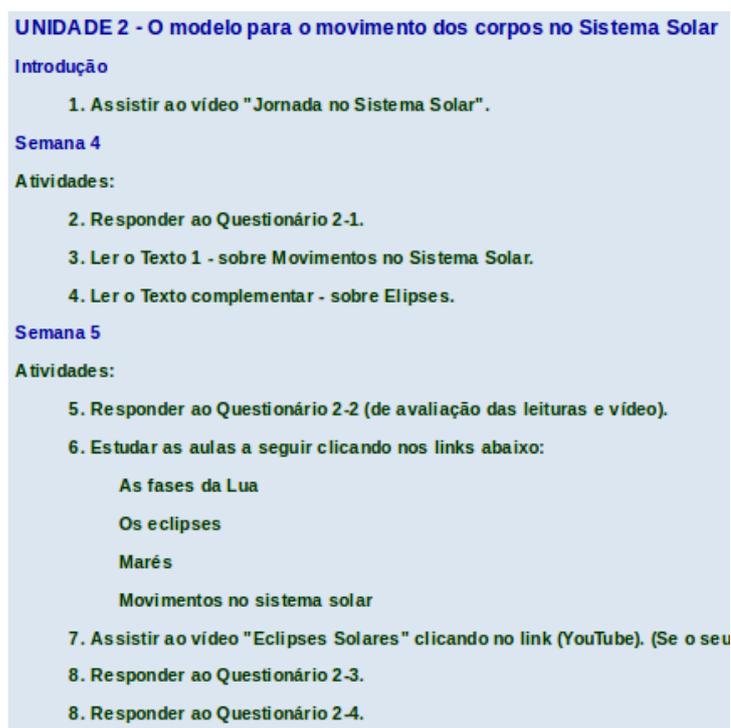
Descrevemos nas próximas seções com maiores detalhes cada um desses procedimentos. No entanto, antes de apresentarmos os caminhos investigativos é importante evidenciar os instrumentos de avaliação da disciplina, pois eles foram utilizados por esta pesquisa para a coleta de dados.

5.1 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

A disciplina contém uma série de atividades que os alunos precisam responder on-line no AVA, a plataforma Moodle (Figura 18). São eles os Questionários 2-1, 2-2, 2-3 e 2-4.

O primeiro deles, o questionário 2-1, é um pré-teste que os estudantes respondem em sala de aula com a presença do professor. Para a realização dessa atividade on-line tenta-se garantir acesso a computador, em sala, para todos.

Figura 18 - Imagem do roteiro didático da Unidade 2 na plataforma Moodle



Fonte: Imagem estática do AVA da disciplina (2013-2016).

Os questionários 2-2 e 2-3 são pós-testes on-line que os alunos respondem após o início dos estudos com os materiais didáticos.

O questionário 2-2 é uma avaliação on-line referente ao vídeo **Jornada no Sistema Solar** e aos dois textos, **Texto 1 – Movimentos no Sistema Solar** (Anexo A) e **Texto complementar – Cônicas: A elipse** (Anexo B), chamamos esse questionário na pesquisa de “pós-teste leituras”, mas ele é respondido após a interação com esses três materiais.

O questionário 2-3 consiste numa avaliação on-line após a interação com as aulas virtuais (hipermídia Caronte) e o vídeo Eclipses Solares. Por fim, o questionário 2-4 é uma avaliação de percepção sobre o uso da hipermídia. Esses dois últimos não foram utilizados neste trabalho.

Além dessas atividades on-line há mais duas avaliações: um teste e uma prova. Ambas são avaliações impressas e individuais realizadas em sala de aula. O “teste impresso” é respondido pelos alunos logo após o fim dos estudos da U2 e envolve exclusivamente os conteúdos dessa unidade, ele é composto por questões fechadas do tipo múltipla escolha. A prova é feita um mês após o teste impresso e

engloba os conteúdos de todas as três unidades da disciplina (mencionadas no capítulo anterior). Diferentemente do teste, ela é dividida em duas partes, na primeira (parte I) contém questões fechadas do tipo múltipla escolha e na segunda (parte II) é composta por questões abertas.

Essas avaliações de aprendizagem são de diferentes modalidades; os questionários on-line possuem um caráter mais formativo possibilitando um diagnóstico inicial (pré-teste) e o acompanhamento do desempenho e da retenção do conteúdo por parte dos estudantes durante o desenvolvimento da U2. As avaliações impressas realizadas em sala de aula possuem um caráter somativo no qual busca-se mensurar os resultados de aprendizagem alcançados pelos estudantes.

5.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A estrutura da U2 da disciplina justifica o desenho metodológico deste trabalho em diferentes aspectos; os instrumentos de avaliação apresentados na seção anterior, por exemplo, serviram-nos como instrumentos de coleta de dados para a avaliação do desempenho dos estudantes antes, durante e após o uso dos recursos visuais propostos nesse ambiente educacional.

Os dados coletados através desses instrumentos são armazenados em planilhas digitais as quais tivemos acesso para a análise das respostas de cada aluno. Esses dados são armazenados em planilhas desde a disponibilização da proposta da U2 no AVA da disciplina há cerca de 8 anos, o que gerou uma enorme amostra de respostas às avaliações propostas. Analisamos, no recorte deste trabalho, as respostas de pouco mais de 1200 estudantes, o que corresponde a um período de 6 anos (11 semestres consecutivos).

Outras características da U2 relevantes para o desenho metodológico da pesquisa são os formatos e propósitos das avaliações realizadas e o intervalo de tempo de aplicação entre elas. O pré-teste, por exemplo, é uma avaliação preliminar aplicada no início da U2 e que possibilita a análise dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos fenômenos astronômicos básicos. No decorrer da unidade os estudantes interagem com os materiais realizando pelo menos duas avaliações

formativas (pós-testes on-line). O teste impresso e a prova são avaliações finais da unidade e da disciplina, respectivamente; o intervalo de tempo de aproximadamente um mês entre elas proporciona resultados com diferentes “tempos” de aprendizagem.

O intervalo de tempo entre as avaliações, possibilitou ainda, a realização da análise preliminar dos dados, bem com, a proposta de repetição ou de inclusão de novas questões à coordenação da disciplina nas etapas avaliativas seguintes, num formato de avaliação em tempo real e à distância.

No caso específico da prova, o formato da parte II (questões abertas) foi recorrentemente utilizado para a análise das representações visuais elaboradas pelos estudantes após o período de estudos com os materiais adotados na U2. Descreveremos em detalhes como e quando coletamos os dados nas seções seguintes.

Em síntese, os instrumentos de avaliação da disciplina em que coletamos dados para esta pesquisa foram:

- Pré-teste
- Pós-teste “leituras” (avaliação das leituras e vídeo)
- Teste impresso
- Prova

Os dados coletados foram analisados com técnicas de estatística descritiva simples e inferencial.

A análise das questões abertas envolveu a redução e a categorização das respostas disponibilizadas nas planilhas digitais mencionadas. A categorização foi feita a partir da leitura das respostas dos alunos e do subsequente agrupamento daquelas que são semelhantes numa mesma categoria, ou seja, as categorias não foram pré-definidas. Entretanto, as categorias criadas e que serão descritas no próximo capítulo correspondem a um tipo de medição ordinal de uma variável porque envolvem categorias do tipo correto, incompleto e incorreto. De acordo com Babbie (2003) esse procedimento se caracteriza por uma medição ordinal de uma variável disposta em uma dimensão, ou seja, desejamos inferir sobre os resultados de aprendizagem (variável) a partir de categorias de resposta ordinais. Neste caso, a

categoria de resposta correta representa um resultado de aprendizagem maior, a categoria incompleta representa um resultado de aprendizagem intermediário enquanto a(s) categoria(s) incorreta(s) representa(m) um resultado de aprendizagem menor, caracterizando a dimensão da variável.

Como os dados analisados na pesquisa envolvem um período longo, dividimos o desenho metodológico em dois procedimentos que correspondem ao período em que apenas analisamos os dados já disponíveis (Procedimento A) e outro no qual propusemos itens novos nos instrumentos de avaliação da U2 (Procedimento B). Nas seções seguintes descrevemos melhor esses procedimentos e também explicamos como procuramos responder às questões de pesquisa formuladas.

5.3 PROCEDIMENTO A: ANÁLISE PRELIMINAR

Num primeiro momento analisamos os dados coletados pelos instrumentos de avaliação da disciplina e que foram disponibilizados nas planilhas digitais. Esses dados correspondem ao período compreendido entre 2013 e 2016 que engloba 8 semestres consecutivos da disciplina; participaram dessa etapa da pesquisa mais de 960 alunos.

Nosso objetivo inicial com esse procedimento foi identificar as concepções prévias dos estudantes acerca dos temas avaliados. Além disso, ele serviu de base para uma análise preliminar das representações visuais dos estudantes e das suas possíveis dificuldades de transitar entre os distintos tipos de representação visual destacados no Capítulo 3. Essa análise também embasou a discussão teórica que apresentamos naquele capítulo e serviu de base para as propostas realizadas no Procedimento B.

No caso específico do conteúdo Rotação Síncrona da Lua foi possível, já neste período, avaliar o desempenho dos estudantes antes e após a interação com os objetos de visualização propostos na disciplina. As questões que foram analisadas são apresentadas no Quadro 1.

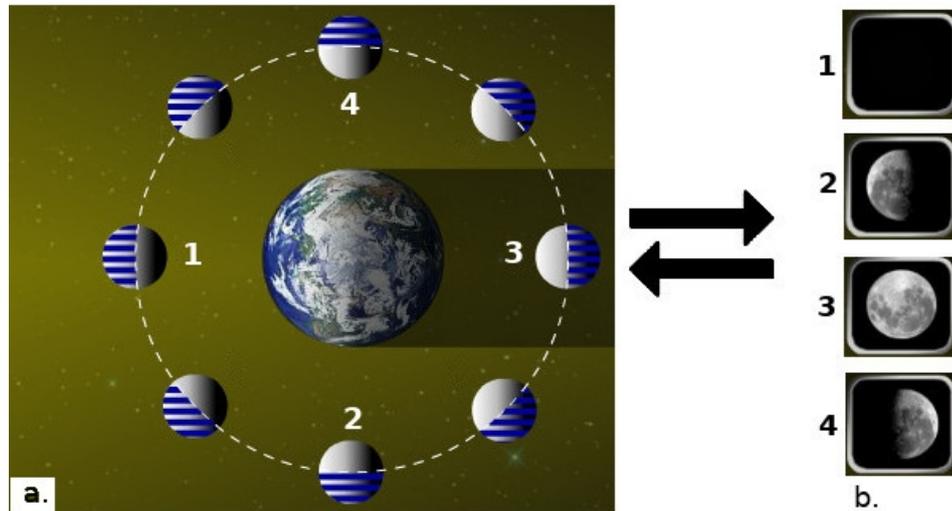
Quadro 1 - Questões sobre o tema Rotação Síncrona da Lua avaliadas.

Pré-Teste	Prova
<p>Q6 - Você ouviu o seguinte comentário: “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Você concorda ou não? Justifique.</p>	<p>Q9 - Por que sempre vemos a mesma face da Lua voltada para a Terra?</p> <p>(a) Porque os movimentos de rotação e de translação da Lua são iguais (rotação síncrona).</p> <p>(b) Porque a Lua não gira em torno do próprio eixo (rotação).</p> <p>(c) Porque a Lua gira em torno do próprio eixo no mesmo tempo em que a Terra gira em torno de si mesma.</p> <p>(d) Porque os movimentos de rotação da Lua e da Terra são iguais.</p>

Fonte: Instrumentos de avaliação (pré-teste e prova) da U2 no período 2013-2016.

A questão aberta aplicada no pré-teste (Quadro 1) permitiu-nos identificar os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos acerca do assunto. Do mesmo modo, foi possível encontrar indicativos sobre a transição entre os tipos de representação visual local e global assumidos como essenciais para a visualização do fenômeno e ilustrados novamente na Figura 19 a seguir. O próprio enunciado da questão auxilia nessa transição, primeiro descrevendo aquilo que seria melhor observado da perspectiva global “A Lua gira em torno de seu eixo de forma” e num segundo momento a consequência “...tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra”. A concordância ou não com esse enunciado e a argumentação apresentada na justificativa nos permite avaliar se os estudantes indicam possuir dificuldades de associar esses dois tipos de representação visual.

Figura 19 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), diferentes aspectos da mesma face da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.



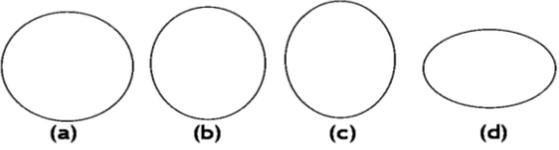
Fonte: adaptação de modelo obtido em:
http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/_index_portugues.html.

Como há uma questão sobre o assunto na prova é possível avaliar se essas dificuldades (ou não) persistem depois da interação com os materiais propostos. A opção considerada correta na questão da prova é a letra “a”.

O tema Fases da Lua não fez parte desse procedimento inicial. No entanto, os resultados de aprendizagem sobre a rotação síncrona da Lua (Procedimento A) foram um dos fatores que nos levaram a investigar esse assunto no Procedimento B.

Quanto ao tema Estações do Ano foram analisadas, neste período, duas questões do pré-teste as quais são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Questões sobre o tema Estações do Ano avaliadas no pré-teste.

Pré-Teste
<p>Q3. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;">  <p>(a) (b) (c) (d)</p> </div> <p>Q9. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano?</p>

Fonte: Pré-teste da U2 no período 2013-2016.

A questão Q3 permitiu a identificação da “forma” do modelo orbital terrestre adotado pelos estudantes. Enquanto a Q9 possibilitou a análise das concepções prévias que eles possuem sobre o assunto. Através da combinação dos resultados dessas duas questões buscamos analisar se os estudantes associam (ou não) o modelo orbital terrestre adotado e as suas respectivas explicações para a existência das estações do ano. No entanto, essa combinação é bastante frágil e não nos permitiu fazer inferências confiáveis a respeito das mudanças de perspectivas relevantes para a visualização deste fenômeno neste período.

5.4 PROCEDIMENTO B: ENFOQUES SEMESTRAIS

O Procedimento B corresponde ao período que tem início no primeiro semestre de 2017. Após os resultados encontrados através do olhar lançado para os dados disponíveis no período correspondente ao Procedimento A (2013-2016), propusemos itens novos nas avaliações da disciplina. Essas proposições ocorreram à distância através do contato direto com a coordenação da disciplina, portanto, não participamos ou fizemos intervenção didática no ambiente de aprendizagem.

Inicialmente foram propostas a inclusão de questões no pré-teste, no pós-teste leituras e no teste impresso. A questão que visa identificar a forma orbital terrestre imaginada pelos estudantes (Quadro 2), por exemplo, foi incluída também no pós-teste leituras e no teste impresso, o que possibilitou uma avaliação da evolução do desempenho dos alunos após a interação com os objetos de

visualização propostos. Um detalhamento sobre todas as modificações realizadas nesses instrumentos de avaliação é apresentado no Apêndice A.

Como a disciplina aborda uma quantidade relativamente variada de fenômenos astronômicos básicos nem todos são contemplados com ênfase em todas as etapas avaliativas. Sendo assim, propusemos a partir do primeiro semestre de 2017 a inclusão de instrumentos de avaliação complementares os quais permitiram avaliar com maior ênfase um tema específico por semestre. Esses enfoques semestrais nas etapas avaliativas da disciplina também possibilitaram a coleta de dados mais relevantes para respondermos às questões desta pesquisa. Foram ao todo três enfoques semestrais entre 2017 e 2018 nos quais participaram mais de 250 alunos.

Nas próximas seções descrevemos como e quando foram feitos esses enfoques. A ordem de apresentação deles não segue uma linha temporal, mas a ordem da descrição dos resultados que serão apresentados no próximo capítulo.

5.4.1 A Rotação Síncrona da Lua (2017-2)

O enfoque sobre o tema Rotação Síncrona da Lua ocorreu no segundo semestre de 2017 (2017-2) e ele é decorrente dos resultados preliminares encontrados durante o Procedimento A (Quadro 1), os quais são apresentados no Capítulo 6.

Nossas análises desse tema durante o Procedimento A demonstraram a necessidade de um olhar mais aprofundado para as explicações externalizadas pelos alunos após a interação com os objetos de visualização disponibilizados no AVA da disciplina. Identificamos uma limitação na comparação entre as questões sobre o tema (Quadro 1) que vinham sendo aplicadas desde 2013 e propusemos uma alteração na questão da prova. Explicaremos melhor essa limitação no próximo capítulo juntamente com a apresentação dos resultados encontrados no Procedimento A.

Portanto, a mesma questão aberta que já vinha sendo aplicada no pré-teste (Quadro 3) foi replicada na parte discursiva da prova do segundo semestre de 2017 (2017-2).

Quadro 3 - Questões sobre o tema Rotação Síncrona da Lua avaliadas no semestre 2017-2.

Pré-Teste e Prova
<p>Q1 - Você ouve o seguinte comentário: “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Você concorda ou não? Justifique.</p>

Fonte: Instrumentos de avaliação (pré-teste e prova) da U2 no semestre 2017-2.

Com a repetição de uma questão aberta na prova foi possível fazer a mesma análise que já era feita no pré-teste considerando a mudança de perspectiva exigida pelo enunciado da questão. Com isso, apresentamos de maneira qualitativa a evolução do desempenho dos estudantes de uma etapa avaliativa para a outra. Esse procedimento visa *caracterizar os “efeitos” de aprendizagem propiciados pelo uso dos objetos de visualização propostos na U2.*

Essa classificação segue os seguintes critérios: o **efeito positivo** se refere aos casos onde os alunos apresentavam justificativas incorretas ou incompletas no pré-teste e passam a responder corretamente na prova. O **efeito neutro** se refere aos casos em que os alunos continuam a responder na prova da mesma forma que respondiam no pré-teste, ou seja, não houve mudanças. Por fim, o **efeito negativo** ocorre quando os alunos que respondiam corretamente no pré-teste passam a responder de forma incorreta na prova.

5.4.2 Fases da Lua (2017-1)

No primeiro semestre de 2017 nosso enfoque foi sobre o tema Fases da Lua.

Para a coleta dos dados referentes ao assunto, solicitamos a inclusão neste semestre, de um pré-teste complementar àquele on-line. Diferentemente da versão on-line esse pré-teste (Apêndice B) é impresso e composto por questões abertas onde os alunos podem externalizar diagramas ou objetos de visualização (desenhos) acerca do fenômeno. Além disso, ele engloba questões abertas sobre outros tópicos que não foram objeto deste trabalho. Propositamente, elaboramos as questões sobre fases da Lua (Quadro 4) de modo a levar os estudantes a desenharem as representações visuais local e global. Conforme defende Mnguni (2014), a

externalização de distintos tipos de representação visual envolvidos fomenta o processo de visualização de um fenômeno.

Quadro 4 - Questões sobre os tema Fases da Lua avaliadas no pré-teste e na prova do semestre 2017-1.

Pré-teste impresso complementar e Prova

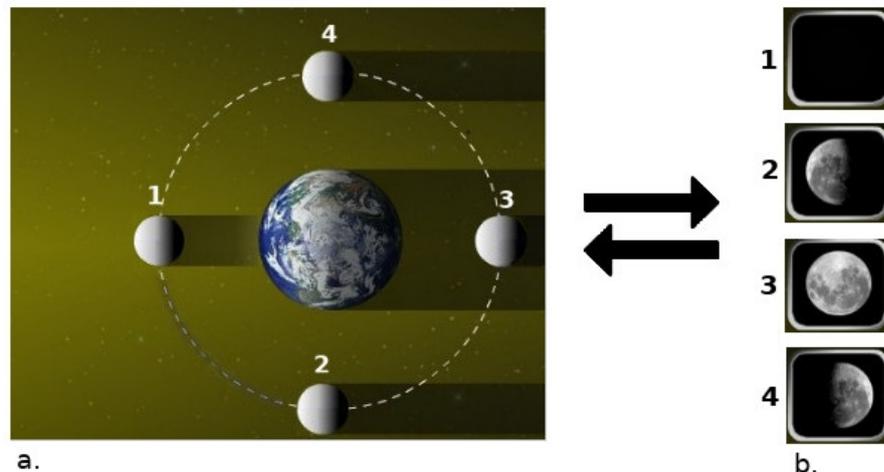
Q1.Explique utilizando um diagrama a ocorrência das quatro fases lunares.

Q2.Faça um desenho de uma sequência de fases lunares. Indique o nome de cada uma delas.

Fonte: Instrumentos de avaliação (pré-teste complementar e prova) da U2 no semestre 2017-1.

A explicação da ocorrência das fases (Q1) exige que os estudantes transitem para uma perspectiva global (Figura 20) onde sejam destacadas as posições relativas entre a Terra, a Lua e o Sol (ou pelo menos a direção e sentido dos raios solares). A Q2 solicita que eles desenhem uma sequência daquilo que é observado (perspectiva local).

Figura 20 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) são ilustradas quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.



Fonte: adaptação de modelo obtido em: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/_index_portugues.html.

Neste semestre, as duas mesmas questões também foram incluídas na parte discursiva da prova (Quadro 4).

Como elas solicitam que os estudantes elaborem diagramas/desenhos, analisamos inicialmente os objetos de visualização elaborados por eles em cada perspectiva e, posteriormente, buscamos identificar possíveis dificuldades de transitar entre elas.

Com isso as questões foram categorizadas separadamente e, posteriormente, as categorias elaboradas para cada uma delas foram combinadas de modo a inferirmos sobre a transição entre as duas perspectivas.

A aplicação de ambas as questões antes e após o desenvolvimento da disciplina possibilitou a análise da evolução do desempenho dos estudantes de uma etapa avaliativa para a outra. Neste caso, *avaliamos se as dificuldades (ou não) de explicar o fenômeno a partir de uma determinada perspectiva e de transitar entre elas persiste após a interação com os objetos de visualização propostos.*

Do mesmo modo que foi feito para o tema Rotação Síncrona da Lua (descrito na seção anterior), buscamos *caracterizar os efeitos de aprendizagem após os estudos com objetos de visualização disponibilizados na U2.*

É importante ressaltar que um terceiro ponto de vista que é essencial para a visualização correta deste fenômeno e que evita a confusão com a explicação para os eclipses foi analisado, neste semestre, através da análise de uma questão fechada que foi aplicada no pré-teste (on-line) e no teste impresso conforme ilustra o Quadro 5.

Quadro 5 - Questão sobre o plano orbital da Lua no pré-teste e no teste impresso do semestre 2017 -1

Pré-teste (on-line) e Teste impresso
<p>Por que não ocorrem eclipses do Sol e da Lua todo mês?</p> <p>(a) Por causa da inclinação do eixo da Terra.</p> <p>(b) Por que a órbita da Lua está inclinada cerca de 15° em relação à eclíptica.</p> <p>(c) Por que a órbita da Terra é uma elipse.</p> <p>(d) Por que a órbita da Lua está inclinada cerca de 5° em relação à eclíptica.</p>

Fonte: Instrumentos de avaliação (pré-teste e teste impresso) da U2 no semestre 2017-1.

A alternativa correta para a questão (Quadro 5) é a opção “d” (marcada em negrito).

5.4.3 Estações do ano (2018-1)

O enfoque no primeiro semestre de 2018 (2018-1) foi sobre o tema Estações do Ano. A análise sobre esse assunto foi bastante diferente daquela realizada para os dois tópicos analisados nos semestres anteriores, pois foram consideradas para este caso pelo menos três mudanças de perspectivas essenciais para a visualização do fenômeno. Com isso, a complexidade da avaliação é maior e não foi possível analisar todas as transições destacadas em uma única etapa avaliativa.

Optamos, portanto, por analisá-las ao longo do desenvolvimento da disciplina, sem a preocupação de destacar os “efeitos” de aprendizagem (comparação de pelo menos duas etapas avaliativas pré e pós estudos).

A primeira inclusão ocorreu no pós-teste leituras onde a mesma questão do pré-teste (Quadro 2) sobre a órbita terrestre foi replicada juntamente com outra onde buscamos identificar as justificativas verbais dos estudantes para a escolha da figura (Quadro 6).

Quadro 6 - Questões sobre estações do ano no pós-teste leituras durante o semestre 2018 - 1

Pós-teste leituras
<p>Q1. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Q2. Justifique sua escolha na questão anterior.</p>

Fonte: Pós-teste “leituras” (questionário on-line) da U2 no semestre 2018-1

Essas duas questões foram incluídas para entendermos melhor a forma orbital adotada pelos estudantes.

Exclusivamente neste semestre, elaboramos também um teste impresso e complementar (Apêndice C) ao já existente (composto por questões fechadas). Ele foi composto por questões abertas onde os estudantes puderam elaborar objetos de

visualização (desenhos) complementares às suas explicações verbais. As questões que foram analisadas no teste impresso recorrente e no complementar são apresentadas no Quadro 7:

Quadro 7 - Questões sobre estações do ano no teste impresso e no teste complementar impresso durante o semestre 2018 -1

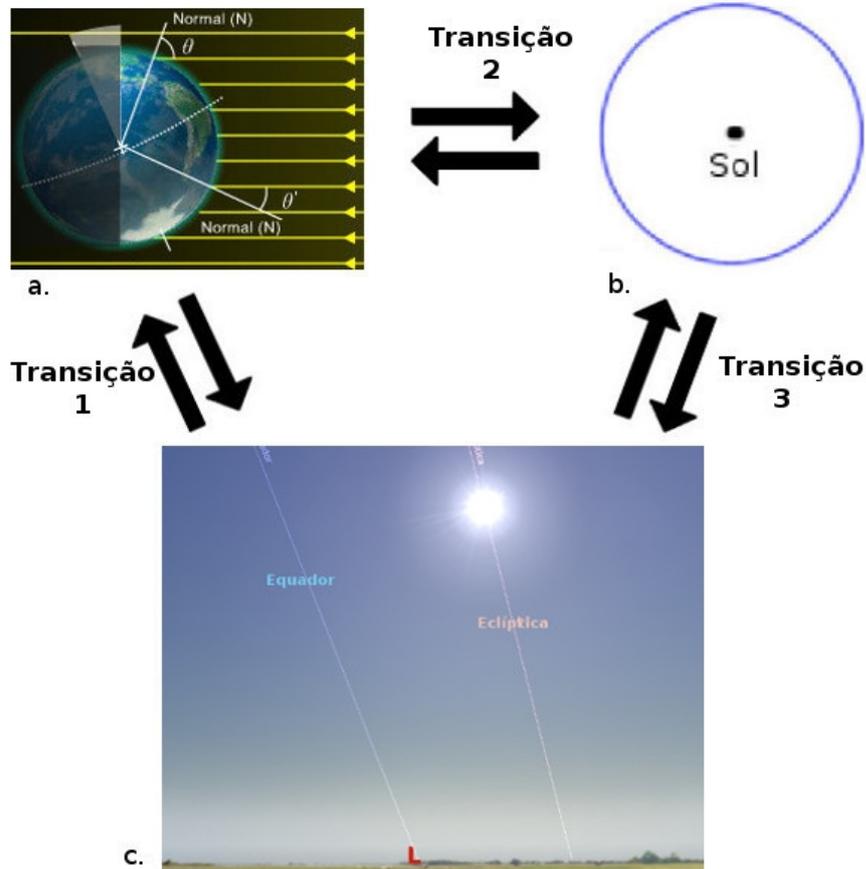
<p>Teste impresso</p> <p>Q15. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;"> </div>
<p>Teste impresso complementar</p> <p>Q1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.</p> <p>Q3. “No mês de dezembro é verão em qualquer ponto sobre a superfície da Terra”. Você concorda com essa afirmação? Justifique.</p>

Fonte: Instrumentos de avaliação (teste e teste complementar) da U2 no semestre 2018-1.

A questão da órbita terrestre foi repetida no teste impresso para compararmos com os resultados das etapas avaliativas anteriores (pré-teste e pós-teste leituras). A Q1 do teste impresso complementar é a mesma questão aplicada no pré-teste (Quadro 2), no entanto, diferentemente desta que é respondida on-line, aquela possibilita a elaboração de desenhos.

Buscamos com essas questões (Q1 e Q3) encontrar indicativos a respeito das Transições 1 e 2 (Figura 21). Ou seja, se os estudantes associam o fenômeno com a inclinação do eixo de rotação da Terra (Transição 1) e se eles indicam visualizar essa característica associando-a com o movimento orbital corretamente (Transição 2). No caso desta última, encontramos indicativos apenas através da análise das representações visuais (desenhos) externalizadas pelos estudantes (MNGUNI, 2014). Mostraremos essa constatação nos resultados apresentados no próximo capítulo.

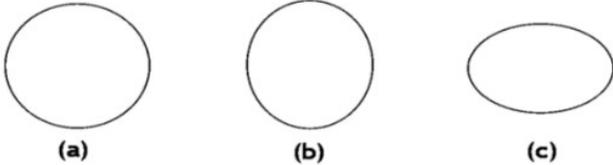
Figura 21 - Em (a) um ponto de vista fora da Terra e sobre o plano orbital (eclíptica). Em (b) uma representação global ilustra a órbita terrestre sem perspectiva à distância (vista “de cima” ou “de baixo”). Em (c) o plano orbital (eclíptica) e a linha do Equador projetadas no céu do hemisfério sul.



Fonte: (a) imagem retirada de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>. (b) imagem adaptada de Canalle (2003). (c) imagem adaptada do software *Stellarium*.

Inserimos também neste mesmo semestre uma questão na parte discursiva da prova (Quadro 8):

Quadro 8 - Questões sobre estações do ano na prova do semestre 2018 -1

Prova
<p>Q3. (a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua resposta e destaque a localização do Sol na figura escolhida.</p> <div style="text-align: center;">  <p>(a) (b) (c)</p> </div> <p>(b) Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.</p>

Fonte: Prova da U2 no semestre 2018-1.

A questão acima foi incluída na parte discursiva da prova para buscarmos indicativos acerca da associação (ou não) que os alunos estabelecem entre a forma orbital terrestre e a explicação para o fenômeno. Essa mudança de perspectiva está relacionada ao que chamamos de Transição 3 (Figura 21).

Por fim, combinamos, neste semestre, os resultados obtidos no teste impresso complementar e na prova de modo a identificar os estudantes que indicam possuir dificuldades (ou não) com cada uma das mudanças de perspectivas destacadas (Transições 1, 2 e 3).

5.4.4 Estações do ano e Fases da Lua (2018-1)

No primeiro semestre de 2018 (2018-1) também analisamos simultaneamente como os estudantes explicam as estações do ano e as fases lunares. Ocorre que o teste impresso complementar (Apêndice E) também possui questões abertas sobre as fases da Lua, as mesmas questões já aplicadas no semestre 2017-1 (Quadro 4) foram inseridas nesta etapa avaliativa.

Essa inclusão nos possibilitou *analisar após os estudos com os materiais propostos como os estudantes que indicam alguma dificuldade (ou não) de visualizar as estações do ano explicam as fases lunares e vice-versa.*

5.5 UM RESUMO DO DESENHO METODOLÓGICO

De acordo com o que apresentamos até aqui, entendemos que as circunstâncias das nossas análises dos dados coletados na disciplina tornam o desenho metodológico da pesquisa um pouco fragmentado com enfoques semestrais e proposições de etapas avaliativas complementares específicas para cada um dos temas avaliados; e em distintos períodos. Por isso, elaboramos um resumo com o uso de um quadro (Quadro 9) onde buscamos auxiliar de forma objetiva na compreensão desse desenho, bem como, na leitura dos resultados que são apresentados no próximo capítulo.

Quadro 9 - Resumo do desenho metodológico da pesquisa.

Período / Tema	Rotação Síncrona da Lua	Fases da Lua	Estações do ano	Estações do ano +Fases da Lua
Procedimento A 2013-2016	Avaliação dos instrumentos: -Pré-teste -Prova	Não houve	Avaliação do instrumento: -Pré-teste	Não houve
Procedimento B	<i>Enfoque do semestre 2017-2:</i> -Pré-teste -Prova (parte II - discursiva)	<i>Enfoque do semestre 2017-1:</i> -Pré-teste complementar impresso (Apêndice B) - Prova (parte II - discursiva)	Repetição/Inclusão de novas questões nos instrumentos de avaliação (Apêndice A) <i>Enfoque do semestre 2018-1:</i> -Pré-teste (Q U2-A) - Pós-teste leituras -Teste impresso complementar - Prova (parte II – discursiva)	<i>Enfoque do semestre 2018-1:</i> -Teste impresso complementar (Apêndice C)

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que essa característica granular da metodologia da pesquisa é uma consequência de uma avaliação em larga escala feita em tempo real e à distância, pois não acompanhamos de perto o desenvolvimento da disciplina.

Os resultados apresentados no próximo capítulo seguem a ordem do Quadro 9. Primeiro são apresentados os resultados de aprendizagem sobre o tema

Rotação Síncrona da Lua, iniciando no Procedimento A e terminando no B (primeira coluna). Em seguida, a segunda e, por fim, a terceira coluna.

A quarta coluna, que é a última a ser apresentada, se refere aos resultados do teste impresso complementar de 2018-1 (Procedimento B) onde foi possível analisar numa mesma avaliação as representações visuais elaboradas pelos estudantes para explicar as estações do ano e as fases lunares.

6 RESULTADOS

Descrevemos a seguir em detalhes o desempenho dos alunos nos instrumentos avaliativos da disciplina e os resultados deste trabalho em cada tema. Iniciamos com a Rotação Síncrona da Lua, primeiramente, os resultados do procedimento A, em seguida, os do Procedimento B.

A ordem de apresentações dos resultados está de acordo com os conteúdos analisados. Ao fim do Procedimento B de cada um deles apresentamos uma seção onde discutimos os resultados específicos (ao conteúdo) encontrados.

6.1 ROTAÇÃO SÍNCRONA DA LUA – PROCEDIMENTO A

Os resultados de aprendizagem sobre a rotação síncrona lunar apresentados nesta seção correspondem aos dados coletados nos 8 semestres no período compreendido entre 2013 e 2016 envolvendo mais de 900 alunos (Quadro 10). Como nem todos participaram das duas etapas avaliativas analisadas (pré-teste e prova) nossa amostra sofreu uma redução para 707 alunos que são os casos que satisfazem essa condição.

Quadro 10 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Rotação Síncrona - Procedimento A.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2013-2016	8 semestres	- Pré-teste - Prova	961	707

Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina.

Na seção a seguir apresentamos os resultados obtidos na análise do pré-teste.

6.1.1 Pré-teste

Quanto à possibilidade de se observar a mesma face da Lua a partir do referencial da Terra, os alunos responderam à seguinte questão no pré-teste: *Você ouviu o seguinte comentário: “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Você concorda ou não? Justifique.*

Conforme discutimos no capítulo 3, encontramos duas concepções prévias sobre o fenômeno bastante frequentes e que são documentadas na literatura de pesquisa. Os estudantes geralmente acreditam que a Lua apresenta a mesma face para a Terra porque: 1- A Lua não possui rotação ao redor de si mesma (**Lua sem rotação - LSR**); 2- A rotação da Lua possui o mesmo período da rotação da Terra (**Dependência da rotação da Terra – DRT**). Ao analisarmos as respostas dos alunos à questão do pré-teste também encontramos essas concepções (BARRIER, 2010; LANGHI, 2011; KANLI, 2015; TÜRKMEN, 2015; VARELA-LOSADA et al, 2015).

Além delas, encontramos outras duas justificativas que estão associadas ao enunciado da questão. Diferentemente da maioria dos trabalhos revisados, nos quais a formulação da questão apresenta a afirmação que a Lua apresenta a mesma face para a Terra, a questão do pré-teste coloca o fato de a Lua apresentar a mesma face para a Terra como uma hipótese em que o aluno deve concordar ou não e, em seguida, justificar. Logo, além das duas concepções já destacadas (LSR e DRT) onde os estudantes concordam com o enunciado, mas justificam equivocadamente, encontramos casos onde eles discordam da afirmação do enunciado. As justificativas mais comuns utilizadas por aqueles que discordam são: 1- É impossível um corpo que rotaciona mostrar uma mesma face para um observador situado a sua frente (**Lua com rotação como justificativa contrária - LCR**); 2- A Lua não apresenta sempre a mesma face pois da Terra visualizamos diferentes fases (**Confusão com as fases da Lua – CFL**).

Essas 4 concepções prévias citadas foram consideradas respostas incorretas. Além disso, encontramos outras justificativas incorretas as quais não se enquadram nas quatro categorias mencionadas ou casos que não respondem (**NR**).

Há também respostas consideradas **corretas** onde os alunos indicam compreender (visualizar) a sincronicidade dos movimentos lunares (rotação e translação) e respostas consideradas **incompletas** onde os alunos indicam conhecer os movimentos lunares (de rotação e de translação), mas não reconhecem ou enfatizam a sincronicidade entre eles.

As frequências de resposta para cada categoria de resposta são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Frequências das categorias de resposta – pré-teste

Pré-teste: Questão 6 – Você ouve o seguinte comentário: “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Você concorda ou não? Justifique		
Categoria de resposta	Frequência	Percentual (%)
Correta	258	36
Incompleta	46	7
LCR	61	8
LSR	37	5
DRT	166	23
CFL	24	3
NR	115	17
TOTAL	707	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

Da Tabela 1 encontramos que menos da metade dos alunos consegue explicar corretamente o fato de visualizarmos do referencial terrestre sempre a mesma face lunar, apenas 258 (36%) em um universo de 707 alunos. Alguns exemplos de respostas onde a argumentação verbal foi considerada correta são:

“Sim, eu concordo. A Lua também possui um movimento de rotação. Assim como a Terra, a Lua realiza esse movimento girando em torno de seu próprio eixo. Dura aproximadamente 28 dias, assim como a revolução, e é graças à essa igualdade que nós só podemos ver uma face do satélite. Sem o movimento, poderíamos ver ambas as faces.” (Aluno 665)

“Sim, porque a rotação da lua e a translação desta em torno da Terra têm a

mesma duração.” (Aluno 670)

Em contrapartida, muitos estudantes acreditam equivocadamente que a sincronia entre a rotação da Terra e da Lua (DRT) explicaria o fenômeno. Essa é a concepção prévia mais frequente utilizada por eles; 166 (23%) respondem desta forma. Os trechos apresentados a seguir representam respostas de estudantes que se enquadram nessa categoria de resposta:

“Concordo, porque pelo efeito gravitacional que sofrem os dois corpos celestes, a rotação da Terra e da Lua pelos seus próprios eixos duram o mesmo tempo, parecendo que a lua está "parada" se vista da Terra.” (Aluno 949)

“Sim, pois mesmo que a lua tenha seu movimento de rotação, a face voltada para a Terra será sempre a mesma já que a Terra também possui um movimento de rotação.” (Aluno 941)

Há um número considerável de alunos, 61(8%) que discorda do enunciado da questão e utiliza o próprio movimento de rotação da Lua para justificar que se ela rotaciona ao redor do próprio eixo; um observador localizado na superfície da Terra deveria observar todas as suas faces (LCR). Estes estudantes indicam não conseguir “visualizar” a simultaneidade da rotação lunar com a sua translação ao redor da Terra (o que realmente é bastante difícil de se fazer tanto do referencial local quanto do ponto de vista “global”). Todavia, eles não associam um fenômeno que é dependente dos movimentos lunares com a rotação da Terra, como é o caso dos alunos da categoria discutida anteriormente (DRT). Abaixo apresentamos exemplos de resposta do tipo (LCR) onde a rotação lunar é utilizada para discordar da visualização da sua mesma face a partir do referencial da Terra (local):

“Não. Pois, se ela possui um eixo e gira em torno de si mesma, a face voltada para a Terra não será sempre a mesma.” (Aluno 705)

“Não, pois se a Lua gira em torno de seu próprio eixo, e gira em torno da Terra, é impossível que sempre a mesma face esteja voltada para a Terra.” (Aluno 737)

Outra justificativa utilizada por 37 (5%) dos alunos é a de que a Lua não possui movimento de rotação (LSR) e, por isso, um observador situado na Terra vê a mesma face Lunar. É interessante ressaltar a ligação entre esta categoria de resposta e a categoria a **Lua com rotação como justificativa contrária – LCR**. O que as distingue é o fato dos alunos discordarem ou concordarem com a observação da mesma face lunar a partir do referencial da Terra. O raciocínio parece ser bastante semelhante em ambas. Vejamos a seguir dois exemplos de resposta do tipo a **Lua sem rotação – LSR**, essa ligação fica perceptível:

“Não. A Lua executa um movimento em volta da Terra, não realizando ao mesmo tempo qualquer movimento em torno do seu próprio eixo. E se ela executasse o movimento em torno de seu eixo, não mostraria à Terra sempre a mesma face.” (Aluno 692)

“Não, a Lua não gira em torno do seu próprio eixo, pois se fizesse não mostraria sempre a mesma face para Terra, assim como acontece. A Lua executa unicamente um movimento em volta da Terra, não realizando ao mesmo tempo qualquer movimento em torno do seu próprio eixo.” (Aluno 549)

Os alunos 692 e 549 concordam que a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra e justificam que isso ocorre devido a inexistência de um movimento de rotação lunar (ao redor de si mesma). A ligação com a categoria de resposta LCR aparece quando eles explicam que se a rotação da Lua existisse seria possível ver todas as suas faces. No entanto, ambos discordam que esse movimento exista.

Na maioria das respostas do tipo LSR, porém, os alunos apenas utilizam a inexistência da rotação da Lua para justificar a observação da mesma face lunar, sem mencionar o que aconteceria se ela tivesse rotação. O exemplo mais recorrente dessa categoria de resposta é:

“Sim, pois, apesar de ocorrer o movimento de translação, não há rotação, girando, portanto, sempre com a mesma face voltada para a Terra.” (Aluno 702)

Há ainda 24 (3%) alunos que discordam da observação da mesma face

lunar e justificam que a mudança das suas fases é uma prova de que a face lunar vista da Terra muda com o passar do tempo. Eles confundem a face com a fase lunar; esta é a concepção denominada **Confusão com as fases da Lua - CFL**. As fases são as partes iluminadas e não iluminadas da mesma face da Lua vistas da Terra e não têm relação direta com o fenômeno em questão (visualização da mesma face). É interessante ressaltar que essa categoria de resposta possui uma associação com a categoria a **Lua com rotação como justificativa contrária – LCR**, pois alguns alunos utilizam a rotação lunar como argumento para justificar as mudanças das fases da Lua. Ou seja, acreditam que as fases lunares são causadas (também) pela rotação da Lua ao redor do próprio eixo devido à mudança da sua face voltada para a Terra. Vejamos dois exemplos:

“Não, se gira em torno de seu eixo, impossível sempre a mesma face voltar para a Terra, um exemplo disso são as fases da Lua.” (Aluno 598)

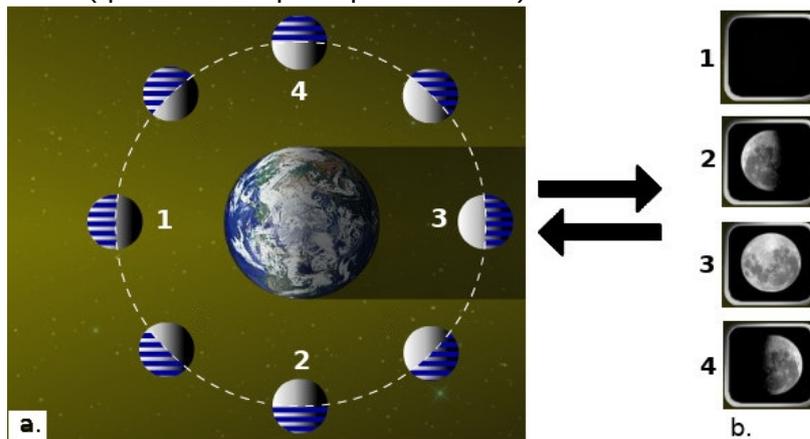
“Não. A Lua possui dois movimentos, de rotação e de translação e que sucedem as 4 faces de acordo com as suas 4 fases.” (Aluno 760)

Os alunos 598 e 760 associam a “hipotética” mudança da face da Lua (que seria causada pela sua rotação) com a mudança das suas partes iluminadas e não iluminadas pelo Sol (fases). O raciocínio desses estudantes parece muito semelhante ao daqueles que utilizam as respostas categorizadas como LCR. A diferença é que as respostas do tipo LCR apresentam a rotação lunar como justificativa contrária para a visualização da mesma face da Lua, enquanto que as respostas do tipo CFL usam o mesmo raciocínio como meio para apontar uma consequência (fim): as fases lunares.

Todas essas categorias de resposta incorretas evidenciam a dificuldade dos estudantes em explicar aquilo que está acontecendo numa escala maior e que exige deles uma capacidade de abstração da qual não estão habituados. O enunciado da questão, por exemplo, pede para que eles expliquem algo que é observado do referencial terrestre. No entanto, as explicações apresentadas pelos alunos evidenciam que eles tentam mudar de perspectiva (um ponto de vista distanciado) para formular uma explicação plausível para o fenômeno observado. Essas

respostas indicam incompatibilidades entre aquilo que é experimentado na perspectiva local e aquilo que os estudantes assumem que está ocorrendo numa perspectiva global, conforme discussão apresentada no Capítulo 3. A Figura 22 é uma adaptação de um modelo apresentado na hipermídia Fases da Lua e foi elaborada apenas para ilustrar as representações visuais que estamos avaliando. Na Figura 22a, é indicada a perspectiva global, na qual é possível visualizar o motivo pelo qual a Lua sempre apresenta a mesma face voltada para a Terra. Na Figura 22b, é mostrada a mesma face da Lua com as suas fases como é vista da perspectiva local.

Figura 22 - Perspectivas envolvidas na visualização da rotação síncrona lunar. Em (a) um modelo (visual) curricular (fora de escala de tamanho e distância) ilustra diversas posições da Lua (em relação à Terra) destacando que uma face lunar sempre está voltada para a Terra enquanto outra nunca está (listras horizontais). Em (b), o aspecto da Lua (quatro fases principais lunares) vista do hemisfério sul.



Fonte: adaptação de modelo obtido em:
http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/_index_portugues.html.

Os alunos que argumentam que a Lua não possui rotação (LSR) para justificar que veem a mesma face lunar do referencial da Terra, por exemplo, não percebem que a inexistência do movimento de rotação é que provocaria ao longo do movimento orbital da Lua a mudança da face voltada para a Terra (a parte destacada com listrado na Figura 22 (em 1), que ficaria voltada para a Terra (em 3)). Os alunos que acreditam ver a mesma face lunar por causa da sincronia entre a rotação do nosso planeta e a da Lua (DRT), não percebem a grande diferença nos períodos de ambos os movimentos e a implicação disto para quem está observando a Lua da superfície da Terra. Os alunos que usam a concepção CFL demonstram conhecer

pouco a geometria dos três astros (Terra, Sol e Lua) e a explicação para as fases, pois acreditam que a rotação lunar (em torno de si) está associada com este fenômeno – mostraremos um exemplo de como os estudantes utilizam a rotação lunar para explicar as fases quando apresentarmos os resultados da avaliação desse assunto mais adiante. De qualquer modo, eles são aqueles que indicam mais dificuldade de mudar de perspectiva.

As respostas do tipo LCR indicam um conhecimento mais aprofundado dos movimentos da Terra e da Lua em relação às anteriores; no entanto, há ainda a dificuldade de visualização integrada dos movimentos lunares (rotação e translação), pois o raciocínio dos alunos estaria correto numa situação hipotética onde a Lua não tivesse o movimento de translação (um corpo que gira em torno de si sem apresentar qualquer outro movimento deveria mostrar todas as suas faces para um observador situado à sua frente).

Resumindo, todas essas categorias de resposta (LCR, LSR, DRT e CFL) indicam uma fragmentação na relação entre os dois tipos de representação visual destacados na Figura 22.

6.1.2 Objetos de visualização

Conforme destacamos no Capítulo 4, os materiais disponibilizados na U2 consistem numa unidade composta por diversos formatos (textos, vídeos e hipermídias) possuindo características que são complementares ao estudo dos fenômenos astronômicos que envolvem fortemente a visualização. Nesta seção destacamos os endereços de acesso para aqueles que julgamos que fornecem um suporte mais específico para a visualização da rotação síncrona lunar, são eles:

- Vídeo Eclipses Solares:

<https://www.youtube.com/watch?v=gT-hh0c-IIA&t=351s>.

- Hipermídia Caronte/Fases da Lua/Rotação Síncrona:

http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdaluaportugues_rotacaosincrona.html.

Esses dois materiais promovem observações pertinentes para a visualização destes fenômenos. É importante destacar que o vídeo proporciona diversas mudanças de perspectiva em tempo real as quais fornecem uma noção espacial para a discussão apresentada de maneira mais orientada (do ponto de vista da TCC) e idealizada na hipermídia.

6.1.3 Prova

Nas provas da disciplina aplicadas entre 2013 e 2016 há uma questão objetiva e de múltipla escolha proposta para avaliar os resultados de aprendizagem sobre o fenômeno: *Por que sempre vemos a mesma face da Lua voltada para a Terra?* **(a)** *Porque os movimentos de rotação e de translação da Lua são iguais (rotação síncrona).* **(b)** *Porque a Lua não gira em torno do próprio eixo (rotação).* **(c)** *Porque a Lua gira em torno do próprio eixo no mesmo tempo em que a Terra gira em torno de si mesma.* **(d)** *Porque os movimentos de rotação da Lua e da Terra são iguais.*

Diferentemente da questão do pré-teste, na qual a observação da mesma face da Lua é colocada como uma possibilidade, na prova os alunos devem saber explicar porque veem a mesma face lunar ao escolher a alternativa correta. As categorias de resposta da questão podem ser reescritas da seguinte maneira: *(a) Correta, (b) LSR, (c) DRT, (d) DRT.* Ou seja, a alternativa correta é a opção (a), a alternativa (b) é um distrator que apresenta a concepção LSR e as alternativas (c) e (d) são distratores que apresentam a concepção DRT.

A Tabela 2 apresenta as frequências de resposta para cada alternativa da questão da prova:

Tabela 2 - Frequências das categorias de resposta – prova

Prova: Questão 9 - Por que sempre vemos a mesma face da Lua voltada para a Terra?		
Categoria de resposta	Frequência	Percentual (%)
a) Correta	362	51
b) LSR	67	9
c) DRT	226	32
d) DRT	47	7
Não responde	5	1
TOTAL	707	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

Da Tabela 2, vemos que há um aumento de 258 para 362 do número de respostas consideradas corretas em relação ao pré-teste (Tabela 1). Na prova, 362 (51%) alunos, pouco mais da metade, escolhem a alternativa correta, um indicativo de resultado positivo após a interação com os objetos de visualização propostos.

Entretanto, há um número significativo de alunos que associam a observação da mesma face lunar com a sincronia entre as rotações da Lua e da Terra (DRT). Se combinarmos as duas possibilidades de responder dessa maneira, 273 (39%) alunos adotam essa explicação equivocada na prova. Em relação ao pré-teste (Tabela 1), esse tipo de justificativa também aumenta.

Ainda há também 67 (9%) estudantes que adotam a concepção da Lua sem movimento de rotação (LSR) e 5 (1%) que não escolhem nenhuma das alternativas.

O resultado da prova, após a interação com os objetos de visualização propostos na disciplina, indica que existe uma tendência dos alunos em escolher a argumentação correta ou àquela associada à concepção prévia denominada como DRT.

Todavia, ao fazermos a comparação entre os dados coletados pela questão aberta do pré-teste e os coletados pela questão de múltipla escolha da prova encontramos um problema. Isto porque no enunciado da questão do pré-teste a visualização da mesma face lunar a partir do referencial da Terra é colocada como uma possibilidade e não como um fato concreto que o aluno precisa justificar (Tabela 1). Diferentemente disto, no enunciado da questão da prova já

há uma afirmação de que sempre visualizamos a mesma face lunar do nosso referencial e os alunos precisam escolher a justificativa correta para a afirmação (Tabela 2).

Essa diferença parece sutil, mas pode limitar a avaliação da evolução dos alunos que discordam da afirmação apresentada no enunciado do pré-teste. Por exemplo, os alunos que apresentam as concepções LCR (Lua com rotação como justificativa contrária) e CFL (Confusão com as fases da Lua) são casos que discordam da visualização da mesma face lunar; suas justificativas demonstram que eles acreditam que a face lunar muda para um observador localizado na superfície da Terra.

É importante ressaltar que uma questão fechada e de múltipla escolha não é um problema e a que é aplicada na prova contempla distratores associados aos conhecimentos prévios recorrentemente citados na literatura de pesquisa, as concepções prévias LSR e DRT (BARRIER, 2010; LANGHI, 2011; KANLI, 2015; TÜRKMEN, 2015; VARELA-LOSADA et al, 2015). No entanto, em comparação com os resultados obtidos no pré-teste, ela limita a avaliação da aprendizagem dos casos mencionados acima. No Procedimento B buscamos solucionar esse problema.

Por fim, um resultado interessante que identificamos neste procedimento é o de que o pré-teste apresentou variações de semestre para semestre analisado. Como o conjunto de dados (707 estudantes) apresentado é um compilado de 8 semestres consecutivos, encontramos que em 6 deles o resultado do pré-teste refletiu o resultado compilado e apresentado na Tabela 1. Ou seja, nesses semestres a resposta mais frequente no pré-teste foi a justificativa considerada correta, enquanto que em 2 semestres, houve uma predominância, nesta mesma etapa avaliativa inicial, das respostas do tipo DRT (2014-2; 2016-1). Essa discrepância nos resultados iniciais pode ser explicada pelas metodologias de sala de aula adotadas pelos diferentes professores da disciplina no período analisado. Os resultados da prova em todos os semestres não apresentaram variações significativas, apenas refletiram a condição inicial.

6.2 ROTAÇÃO SÍNCRONA DA LUA – PROCEDIMENTO B

Uma possível limitação em nossa análise dos resultados de aprendizagem no Procedimento A está associada ao formato da questão que vinha sendo aplicada na prova até o segundo semestre de 2016 (2016-2).

Esse tópico teve um enfoque na avaliação final do segundo semestre de 2017 (2017-2) quando foi repetida uma questão idêntica à do pré-teste na parte discursiva (parte II) da prova.

Portanto, exclusivamente no semestre 2017-2, a questão aberta: *Você ouviu o seguinte comentário: “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Você concorda ou não? Justifique* foi aplicada nas duas etapas avaliativas.

Essa modificação nos permite olhar com mais cuidado para a evolução dos casos de respostas do tipo LCR e CFL, por exemplo, as quais representam discordância com a visualização da mesma face lunar a partir do nosso referencial. Além disso, nos permite identificar com maior rigor a persistência das respostas do tipo DRT após a interação com os objetos de visualização propostos.

A questão aberta aplicada na prova possibilita também a elaboração de desenhos e/ou diagramas. Em alguns casos, os alunos utilizaram ambas as formas de resposta (imagética e verbal) e elas foram combinadas para classificarmos as suas respostas em uma das categorias existentes (já apresentadas no Procedimento A). É importante ressaltar que apesar das questões utilizadas no pré-teste e na prova serem idênticas, a possibilidade de resposta verbal e/ou imagética só existe na prova porque esta é impressa, enquanto que o pré-teste é respondido on-line no AVA da disciplina (inviabilizando a elaboração de diagramas/desenhos por parte dos alunos).

Em 2017-2, 111 alunos participaram das duas etapas avaliativas (pré-teste e prova).

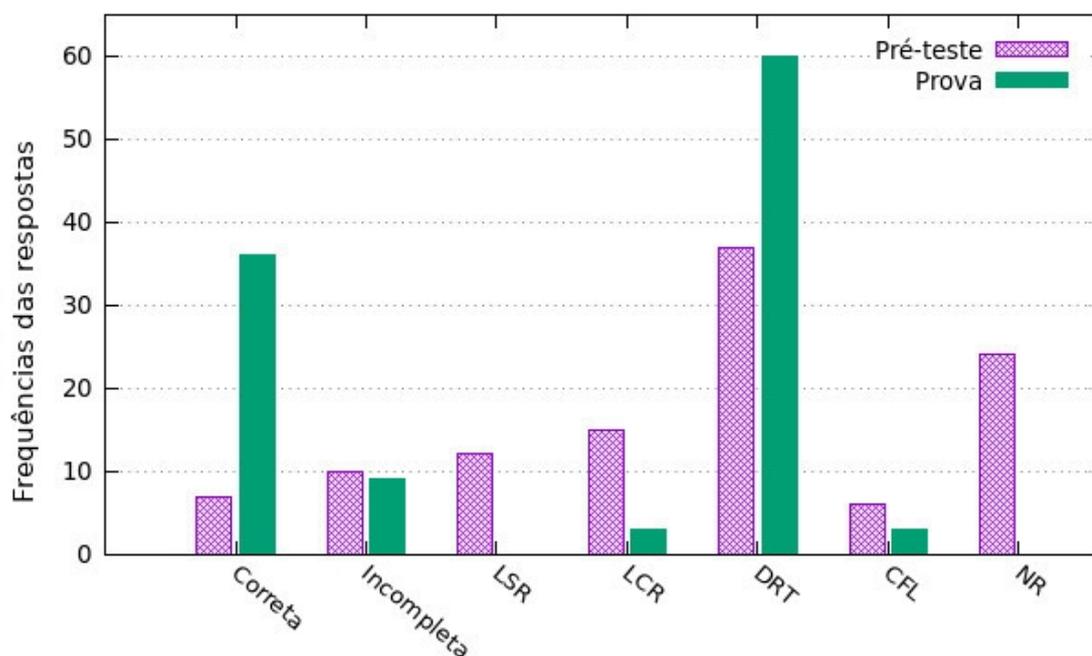
Quadro 11 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Rotação Síncrona - Procedimento B.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2017-2	1 semestre	- Pré-teste - Prova	125	111

Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina..

Os resultados são apresentados no histograma a seguir (Figura 23). No eixo horizontal são apresentadas as categorias de resposta, as barras do histograma representam as etapas avaliativas e no eixo vertical estão as frequências de resposta para cada caso.

Figura 23 - Frequências de respostas para a questão aberta sobre rotação síncrona lunar no pré-teste e na prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao olharmos inicialmente para os resultados do pré-teste podemos perceber que poucos alunos, apenas 7 (6%), conseguiam explicar corretamente a visualização da mesma face lunar a partir do referencial terrestre. Enquanto 37 (33%) alunos apresentavam inicialmente a concepção DRT como justificativa. Além destes, as demais concepções LSR, LCR e CFL também se faziam

presentes antes da interação com os objetos de visualização propostos na disciplina. Esse é um quadro onde os estudantes, de modo geral, demonstram desconhecer a explicação do fenômeno antes de iniciarem os estudos sobre o assunto e indicam dificuldades com a mudança de perspectiva essencial para a visualização dos movimentos lunares.

Nos resultados da prova percebemos um aumento das respostas consideradas corretas e da concepção DRT; esta continua sendo a resposta mais frequente. Esse quadro já havia sido diagnosticado através da questão fechada aplicada no período referente ao Procedimento A.

O aumento de respostas consideradas corretas é bastante significativo. No pré-teste apenas 7 (6%) alunos indicavam mudar de perspectiva corretamente para explicar a visualização da mesma face lunar, enquanto que na prova são 36 (32%) estudantes.

Encontramos também na prova respostas do tipo LCR (3 alunos) e CFL (3 alunos). Nos semestres anteriores não era possível responder dessa forma dado o formato da questão que vinha sendo utilizada. Esses estudantes continuam discordando da visualização da mesma face lunar a partir do referencial terrestre. Outro fato interessante do resultado da prova é que nenhum aluno apresenta verbalmente a concepção LSR, sendo que 12 deles apresentavam essa concepção quando questionados da mesma forma no pré-teste e todos apresentam diferentes argumentos depois, o que é entendido como evidência de que essa concepção é pouco resistente a mudanças quando há interação com os objetos de visualização adotados na U2.

Em contrapartida, a persistência significativa de respostas do tipo DRT em uma questão aberta na prova reforça o fato de que essa concepção é bastante resistente a mudanças, 60 (54%) estudantes utilizam a sincronia com a rotação da Terra nas suas justificativas.

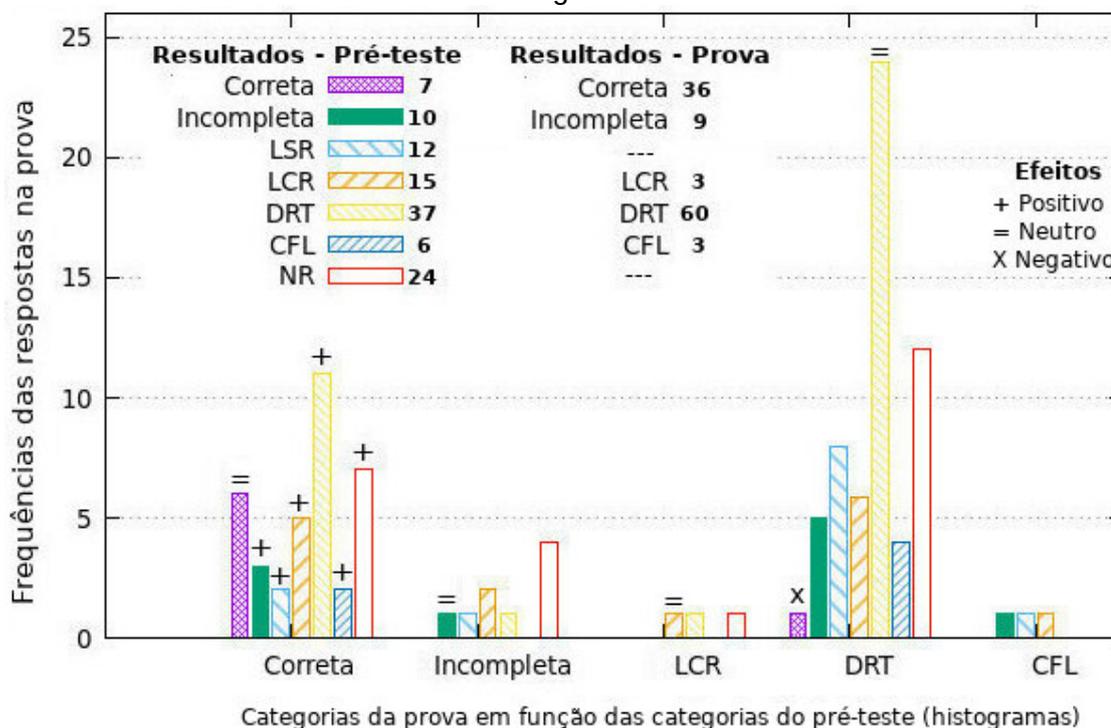
Uma análise interessante que pode ser feita com esses resultados é lançar um olhar para o desempenho dos alunos na prova em função do seu desempenho na etapa avaliativa anterior (pré-teste). Deste modo, podemos avaliar a evolução de cada caso após os estudos com os objetos de visualização propostos.

Elaboramos um histograma (Figura 24) no qual é possível visualizar simultaneamente como os alunos responderam no pré-teste e na prova. Além disso, destacamos neste mesmo histograma os casos particulares os quais chamamos de efeitos positivo, neutro e negativo identificados após o período de estudos com os objetos de visualização disponibilizados pela disciplina. O **efeito positivo** se refere aos casos onde os alunos passam a responder corretamente na prova, no histograma esses casos são marcados com o sinal (+). O **efeito neutro** se refere aos casos em que não há mudanças de uma etapa para a outra, esses são marcados com o sinal (=). Por fim, o **efeito negativo** ocorre quando os alunos que respondiam corretamente no pré-teste passam a responder de forma incorreta na prova, esses casos são identificados com a letra (x).

No histograma (Figura 24) o eixo horizontal é formado pelas categorias da prova e as barras sobre essas categorias representam cada uma das categorias do pré-teste. O eixo vertical representa as frequências de resposta para cada caso na prova. Com isso, é possível verificar, por exemplo, como os alunos que respondem corretamente na prova (lê-se a categoria “correta” no eixo horizontal) respondiam no pré-teste (lê-se cada uma das barras do histograma sobre a categoria “correta”).

Há também na Figura 24 um quadro superior no qual apresentamos uma legenda para a identificação das barras (categorias do pré-teste) e os resultados de cada etapa avaliativa individualmente (conforme Figura 23); para obtê-los no histograma é preciso somar as barras iguais (no caso do pré-teste) ou somar as barras diferentes sobre a mesma categoria de resposta apresentada no eixo horizontal (no caso da prova).

Figura 24 - O histograma apresenta os resultados da prova em função das respostas no pré-teste durante o Procedimento B. Na parte superior são apresentados os resultados individuais de cada etapa avaliativa e as legendas correspondentes às barras do histograma.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O histograma (Figura 24) ilustra que o efeito positivo (+) ocorre em qualquer caso. Ou seja, em todas as categorias do pré-teste há casos que passam a responder corretamente na prova. Por exemplo, no universo de 37(33%) que adotavam a justificativa DRT antes (quadro superior), 11 (9%) passam a apresentar uma justificativa considerada correta depois (identificados com +).

Fica perceptível também que o caso mais recorrente foi considerado como efeito neutro (identificado com "=" acima do histograma) e é representado pelos 24 (22%) estudantes que continuam adotando a justificativa DRT na prova. Outro resultado evidenciado pelo histograma são os vários casos que adotavam qualquer justificativa no pré-teste e passam a usar a concepção DRT depois, isso faz com que esta categoria seja a mais frequente na prova.

Podemos também analisar o mesmo histograma considerando os efeitos identificados com os símbolos (+, = e X). Neste caso são encontrados 30 (27%) casos considerados como efeito positivo (+), são todos aqueles que passam a

responder corretamente na prova. Há ainda 32 (29%) estudantes que não mudam a argumentação de uma etapa para a outra e foram considerados como efeito neutro (=). Por fim, identificamos 1 (1%) caso como efeito negativo (X), pois deixa de responder de maneira considerada correta na prova, adotando como justificativa a concepção DRT. Todos os demais casos apesar de não terem sido destacados são entendidos como efeito neutro, pois não há mudança desejável e ela também não pode ser entendida como indesejável uma vez que os estudantes já apresentavam dificuldades em visualizar o assunto. Retomaremos a discussão sobre esses casos no último capítulo numa discussão teórica sobre a visualização; o nosso foco neste momento é caracterizar os efeitos.

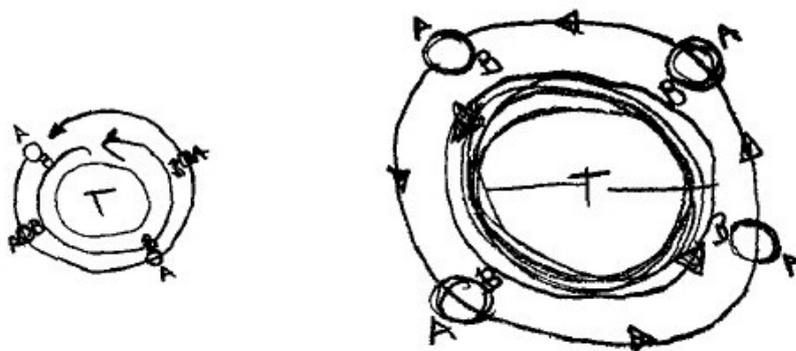
Apresentamos a seguir um exemplo classificado como efeito neutro após a interação com os objetos de visualização:

Aluno 7317

Pré-teste (concepção DRT) - *“Sim. Como eu respondi antes a Lua está em sincronia com a Terra”*

Prova (concepção DRT) - *“Concordo. O movimento da Terra e da Lua são síncronos, ou seja, a Lua sempre tem a mesma face voltada para a Terra, da mesma forma que a Lua tem a mesma face da Terra voltada para ela.”*

Figura 25 - Diagrama elaborado (concepção DRT) pelo aluno 7317 na prova.



Fonte: Prova do aluno 7317.

O aluno 7317 é um exemplo de efeito neutro e é um dos 24 (22%) alunos que utilizam a justificativa DRT nas duas etapas avaliativas. O diagrama que ele

elabora indica o movimento da Lua ao redor da Terra e a rotação terrestre, complementando a sua resposta verbal.

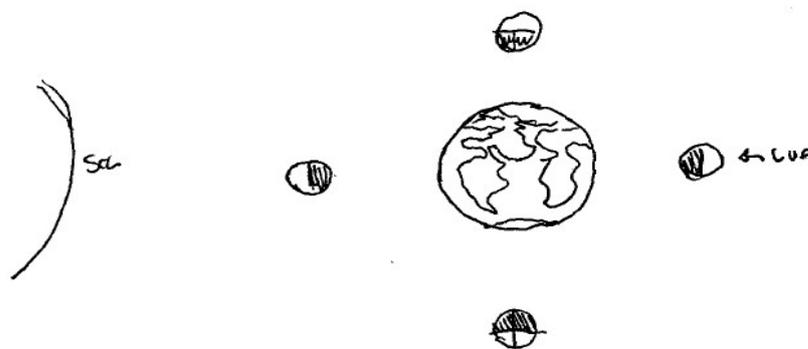
Os exemplos abaixo representam casos considerados como efeito positivo:

Aluno 2817:

Pré-teste (Concepção LCR) - *“Não, porque ao longo do mês é possível ver diferentes **faces** da Lua.”*

Prova (Correta) - *“Sim, pois a Lua tem, como é chamado na astronomia, uma rotação síncrona ou seja a Lua tem sempre a mesma face vista pela Terra.”*

Figura 26 - Diagrama correto elaborado pelo aluno 2817 na prova.



Fonte: Prova do aluno 2817.

O aluno 2817 está no universo de 30 (27%) casos considerados como efeito positivo. Em sua resposta à questão do pré-teste ele discordava da visualização da mesma face lunar (concepção LCR). Na mesma questão da prova ele apresenta uma explicação verbal e um diagrama que se complementam. No diagrama o estudante representa a Lua em quatro posições distintas ao redor da Terra (movimento de translação lunar) com Sol e Terra estáticos e destaca com rabiscos a face que está sempre voltada para a Terra. Na parte inferior da imagem a Lua apresenta um sistema de quadrantes bastante parecido com aquele apresentado no modelo visual da hipermídia Rotação Síncrona que descrevemos no Capítulo 4, mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Imagem estática retirada do modelo visual apresentado na hipermídia Rotação Síncrona.



Fonte: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdalua/portugues_rotacaosincrona.html.

A semelhança entre o sistema de quadrantes adotado pelo aluno 2817 (Figura 26) e aquele apresentado no modelo visual (Figura 27) indica uma apropriação (“empréstimo” segundo a TCC) das informações globais apresentadas por este objeto de visualização.

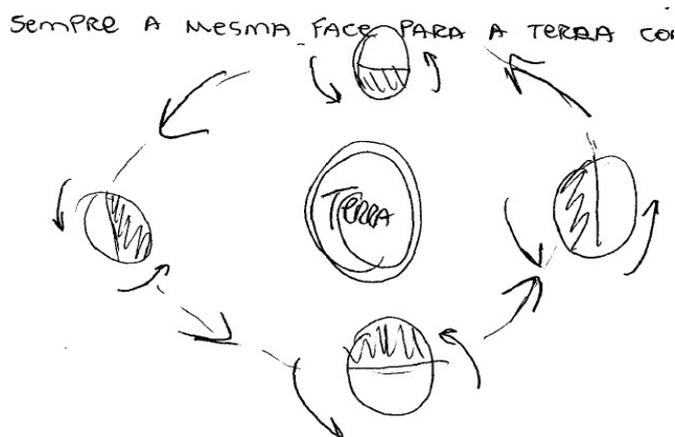
A seguir apresentamos outro exemplo de efeito positivo:

Aluno 10917:

Pré-teste (concepção LSR) - *“Sim, pois imagino que a Lua não exerça o movimento de rotação.”*

Prova (Correta) - *“Sim, pois a Lua possui uma particularidade em seus movimentos de rotação e de revolução em relação a Terra. Esses movimentos são síncronos, ou seja, na medida que a Lua translada ao redor da Terra, ela gira em torno de si, mostrando sempre a mesma face para a Terra como na figura a seguir:*

Figura 28 - Diagrama correto elaborado pelo aluno 10917 na prova.



Fonte: Prova do aluno 10917.

O aluno 10917 é outro exemplo de efeito positivo. Diferentemente do caso anterior, ele concordava com a visualização da mesma face da Lua a partir da Terra. No entanto, a sua justificativa estava equivocada, ele utilizava o argumento de que a Lua não possui o movimento de rotação (concepção LSR). Na prova, demonstra não apenas reconhecer que a Lua possui movimento de rotação, mas que a combinação desse movimento com o de revolução é que explicam o fato de visualizarmos sempre a mesma face lunar. Ele demonstra compreensão tanto na sua resposta verbal quanto no seu diagrama o qual apresenta uma convenção (parte hachurada) para destacar a face que está sempre voltada para a Terra e ainda destaca ambos os movimentos com setas.

6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DA ROTAÇÃO SÍNCRONA LUNAR

A análise dos resultados de aprendizagem sobre a rotação síncrona lunar foi realizada através de dois procedimentos:

- Procedimento A - de 2013 a 2016 – Neste período não houve qualquer alteração nos instrumentos de avaliação da disciplina. Foram analisadas uma questão do pré-teste e outra da prova. Os resultados encontrados na prova trouxeram evidências de que após o curso os estudantes tendem a responder corretamente ou a usar a concepção DRT.

- Procedimentos B - 2017/2 – Nesse semestre repetimos uma questão aberta do pré-teste na parte discursiva da prova, o que possibilitou uma avaliação mais aprofundada da evolução dos alunos de uma etapa avaliativa para a outra. Além disso, foi possível avaliar com maior precisão os casos dos alunos que no pré-teste discordavam da visualização da mesma face lunar a partir do referencial terrestre. Os resultados se mantiveram semelhantes ao que já identificávamos nos semestres anteriores.

De modo geral, os casos considerados como efeito positivo apresentados no Procedimento B ilustram uma evolução de alunos que apresentavam inicialmente dificuldades em imaginar/elaborar uma representação global coerente com aquilo que é observado do referencial da Terra (perspectiva local). Esses estudantes passam a elaborar representações visuais globais cientificamente aceitas e correspondentes àquilo que observamos, a mesma face lunar. Essa mudança positiva nas explicações dos estudantes e que caracteriza a visualização correta do fenômeno na prova não é trivial.

Quando nos colocamos à distância podemos observar com mais facilidade que uma face lunar está sempre voltada para a Terra, mas ainda não é trivial perceber que ela rotaciona em torno de si. A sobreposição dos dois movimentos (rotação e translação) que ocorrem simultaneamente dificulta a percepção de que a Lua rotaciona em torno de si. Este movimento, portanto, pode passar despercebido mesmo quando observarmos o fenômeno à distância.

Nesse sentido, há um objeto de visualização específico na U2 que fornece suporte a essa dificuldade intrínseca de visualização dos movimentos lunares que se sobrepõem. Os movimentos de translação e de rotação lunares são decompostos propositalmente e apresentados em sequência com o auxílio de um sistema de quadrantes (Figura 27). Esse procedimento metodológico adotado no modelo é baseado nas premissas da Teoria da Carga Cognitiva (TCC), uma vez que nesse caso a interatividade elementar é alta devido à simultaneidade e sobreposição dos fenômenos que precisam ser compreendidos (SWELLER, 2008; SWELLER et al, 2011).

O diagrama elaborado pelo estudante 2817 (Figura 26) na prova, um caso considerado como efeito positivo, exemplifica que mesmo com a dificuldade inerente

à visualização desses movimentos, alguns estudantes que inicialmente possuíam dificuldades de mudar de ponto de vista e ainda compreender os movimentos lunares vistos de uma perspectiva à distância (que em si é difícil) indicam visualizar melhor o fenômeno na prova, transitando corretamente entre essas distintas representações visuais. Neste caso específico, o desenho do aluno indica que o “empréstimo” (do ponto de vista da TCC) fornecido pelo modelo visual apresentado na hipermídia Rotação Síncrona foi relevante.

No entanto, como mencionamos no Capítulo 4, não é possível reduzir a aprendizagem mediada pelos objetos de visualização propostos no âmbito da U2 a uma única parte. Ou seja, os materiais como um todo consistem num apoio à visualização dos fenômenos astronômicos básicos que estamos avaliando, incluindo a rotação síncrona lunar.

Além das dificuldades de visualização apenas dos movimentos lunares, a concepção prévia que associa esse fenômeno à rotação da Terra (DRT) se mostra bastante resistente à proposta dos materiais apresentados na U2. Encontramos alguns casos que respondiam dessa forma no pré-teste e que indicam visualizar corretamente o fenômeno na prova (Figura 24), mas de modo geral, muitos estudantes permanecem utilizando ou passam a responder dessa forma na prova.

O aumento de respostas do tipo DRT na prova pode ser entendido por três motivos: 1- pela forma como esses movimentos são percebidos/observados do nosso referencial, uma vez que da superfície da Terra (perspectiva local) não conseguimos observar ambos os movimentos por completo. 2- Decorre desse problema a necessidade de se fazer uma mudança de perspectiva e muitos alunos demonstram dificuldades ao tentar visualizar esses movimentos se colocando num referencial mais afastado (global) onde seria possível vê-los por completo. 3- Não é fácil perceber o período de rotação lunar mesmo de uma perspectiva à distância devido à sobreposição com sua translação.

Portanto, entendemos que apesar de todo o suporte fornecido pelos recursos visuais propostos, a visualização desse fenômeno é bastante complexa e para que mais estudantes consigam fazê-la corretamente é importante se pensar em atividades complementares.

Na próxima seção apresentamos os resultados do tema Fases da Lua.

6.4 FASES DA LUA – PROCEDIMENTO B

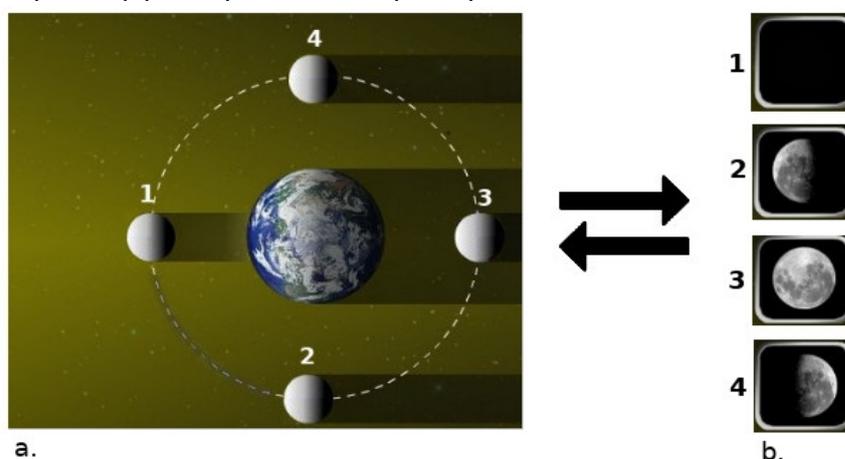
A análise do tema Rotação Síncrona no período compreendido entre 2013 e 2016 (Procedimento A) possibilitou a identificação da concepção prévia denominada como Confusão com as Fases da Lua (CFL). Essa explicação atribuída pelos alunos para o fenômeno, que configura uma confusão entre a face e a fase da Lua, nos levou a buscar uma análise mais aprofundada sobre as explicações que eles atribuem para as fases lunares.

Com isso, no primeiro semestre de 2017 (2017-1) buscamos focar nesse assunto e isso se deu com a aplicação de um questionário complementar ao pré-teste. Nessa etapa avaliativa complementar apresentam-se duas questões abertas que visaram coletar informações sobre a capacidade dos alunos de explicar o fenômeno em questão a partir de duas perspectivas distintas, a local e a global, conforme discussão apresentada no Capítulo 3 (Figura 29). Essas duas mesmas questões foram replicadas na prova realizada ao término da disciplina.

As fases lunares são bastante exploradas pelos objetos de visualização disponibilizados na U2. O vídeo Eclipses Solares e a hiperímia Fases da Lua, por exemplo, são propostas bastante complementares; no caso do vídeo simulando observações pertinentes de outros pontos de vista onde é possível perceber de maneira facilitada os movimentos e as posições relativas entre Sol, Terra e Lua, enquanto a hiperímia apresenta modelos visuais os quais de maneira orientada destacam algumas informações pertinentes para a percepção do que está sendo ilustrado.

As questões aplicadas nas duas etapas avaliativas foram: **Q1** *Explique utilizando um diagrama a ocorrência das quatro fases lunares (perspectiva global).* **Q2** *Faça um desenho de uma sequência de fases lunares. Indique o nome de cada uma delas (perspectiva local).*

Figura 29 - Duas perspectivas (tipos de representação visual) envolvidas na explicação das fases lunares. Em (a) um modelo (visual) curricular clássico (fora de escala de tamanho e distância) são ilustradas quatro posições da Lua (em relação à Terra) as quais representam as quatro fases principais lunares (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante). Em (b), as quatro fases principais lunares vistas do hemisfério sul.



Fonte: adaptação de modelo obtido em: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/fasesdaluia/_index_portugues.html.

A Figura 29 ilustra os dois tipos de representação visual, que são analisados nas duas questões. Na **Q1** os alunos devem apresentar uma explicação através da perspectiva global (Figura 29a), enquanto na **Q2** eles devem apresentar uma sequência de fases lunares observadas da perspectiva local (Figura 29b). Mostraremos a seguir que eles geralmente desenharam esses dois pontos de vista ilustrados na Figura 29. É importante ressaltar que a referida figura é uma adaptação de imagem retirada da hipermídia Fases da Lua feita apenas para ilustrar as representações visuais que estamos avaliando.

No semestre 2017-1, 55 estudantes (Quadro 12) participaram das duas etapas avaliativas analisadas (pré-teste impresso complementar e prova).

Quadro 12 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Fases da Lua – Procedimento B.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2017-1	1 semestre	- Pré-teste impresso complementar - Prova	122	55

Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina.

As explicações apresentadas por eles na questão Q1 foram reduzidas em 5

categorias de resposta resumidas na Tabela 3:

Tabela 3 - Categorias de resposta da Q1 e seus exemplos.

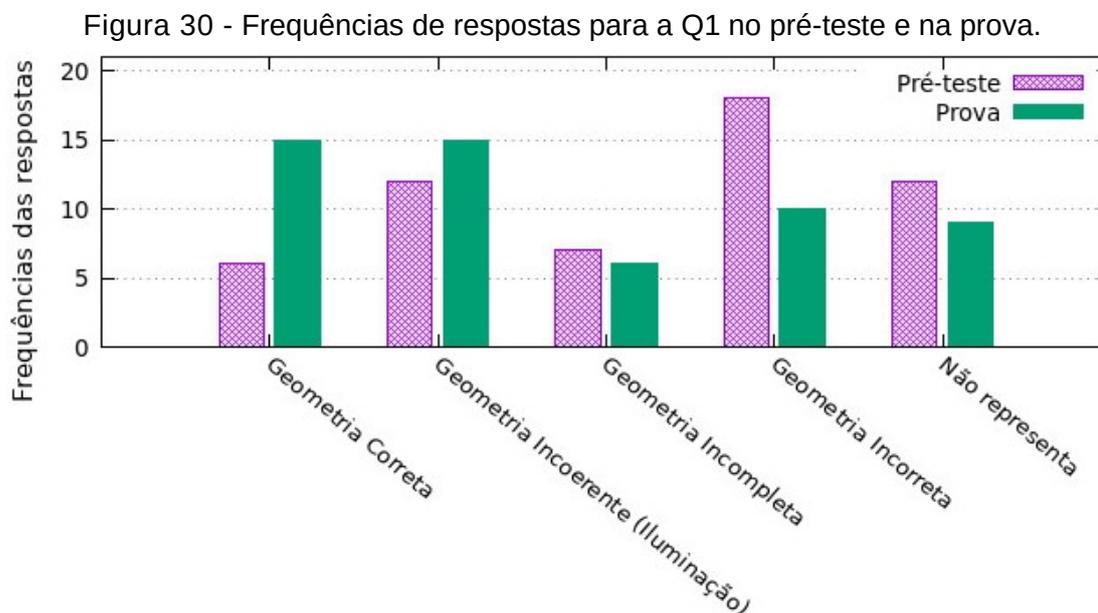
Q1 - Explique utilizando um diagrama a ocorrência das quatro fases lunares.	
Categoria	Exemplo
<p>Geometria correta – representam as diferentes posições relativas entre Terra, Lua e o Sol (ou a direção dos raios solares), associando essas diferentes posições a cada uma das quatro fases principais lunares de maneira correta. Além disso, representam de forma coerente a direção dos raios solares e os lados iluminados e não iluminados da Lua para cada respectiva fase.</p>	
<p>Geometria incoerente (iluminação) - representam as diferentes posições relativas entre Terra, Lua e o Sol (ou a direção dos raios solares). No entanto, representam de forma incoerente a direção dos raios solares e os lados iluminados e não iluminados da Lua.</p>	
<p>Geometria incompleta - representam as diferentes posições relativas entre Terra, Lua e o Sol (ou a direção dos raios solares). No entanto, não representam a direção dos raios solares e os lados iluminados e não iluminados da Lua</p>	
<p>Geometria incorreta – diagramas considerados incorretos e que apresentam qualquer outra explicação que não esteja associada às categorias anteriores.</p>	
<p>Não representa - casos que não apresentam um diagrama com uma explicação para as fases lunares</p>	

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos instrumentos de avaliação da U2.

As respostas categorizadas como **Geometria Incoerente (iluminação)** serão discutidas adiante, pois a incoerência dos lados iluminados (e não iluminados) da Lua, nesses diagramas globais elaborados pelos alunos, está diretamente associada com as explicações locais que eles apresentam na questão **Q2**.

As frequências de resposta para a **Q1** (perspectiva global) tanto no pré-teste

quanto na prova são apresentadas no histograma da Figura 30.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Vemos no histograma (Figura 30) que a resposta mais frequente no pré-teste é a **Geometria incorreta**, ou seja, diagramas globais que apresentam uma explicação considerada incorreta para as fases lunares. O exemplo dessa categoria de resposta mostrado na Tabela 3 é também uma resposta categorizada como **Confusão com as fases da Lua (CFL)** nas seções anteriores, como mostrado quando discutimos a rotação síncrona da Lua. No diagrama apresentado para explicar as fases lunares esses estudantes destacam a rotação da Lua numa evidente confusão entre a face e a fase lunar como discutido anteriormente. Das 18 respostas consideradas incorretas no pré-teste, 3 consistem nesta concepção prévia.

O histograma também evidencia uma evolução dos alunos de uma etapa avaliativa para a outra. O número de explicações globais corretas para o fenômeno aumenta de 7 (13%) para 15 (27%) do pré-teste para a prova, o que é entendido como um efeito positivo. Vemos também de uma etapa para a outra um aumento de respostas do tipo **Geometria incoerente (iluminação)**; esse aumento está associado com a evolução dos alunos nas respostas à questão **Q2** quando eles representam uma sequência de fases observadas a partir do referencial local.

Portanto, retomaremos essa discussão após apresentarmos os resultados da **Q2**.

As representações visuais locais sobre as fases lunares apresentadas pelos alunos na questão **Q2** foram reduzidas a 3 categorias de resposta apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Categorias de resposta da Q1 e seus exemplos.

Q2 - Faça um desenho de uma sequência de fases lunares. Indique o nome de cada uma delas.	
Categoria	Exemplo
Representação correta – representa e nomeia corretamente uma sequência de fases lunares observadas.	<p>Cheia → Minguante → Nova → Crescente</p>
Representação incompleta – representa corretamente as quatro fases lunares, mas erra a sequência.	<p>Lua Cheia, Lua Crescente, Lua Nova, Lua Minguante</p>
Representação incorreta – representa e/ou nomeia incorretamente uma sequência de fases lunares.	<p>Minguante, [square], [circle], Cheia</p>

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos instrumentos de avaliação da U2.

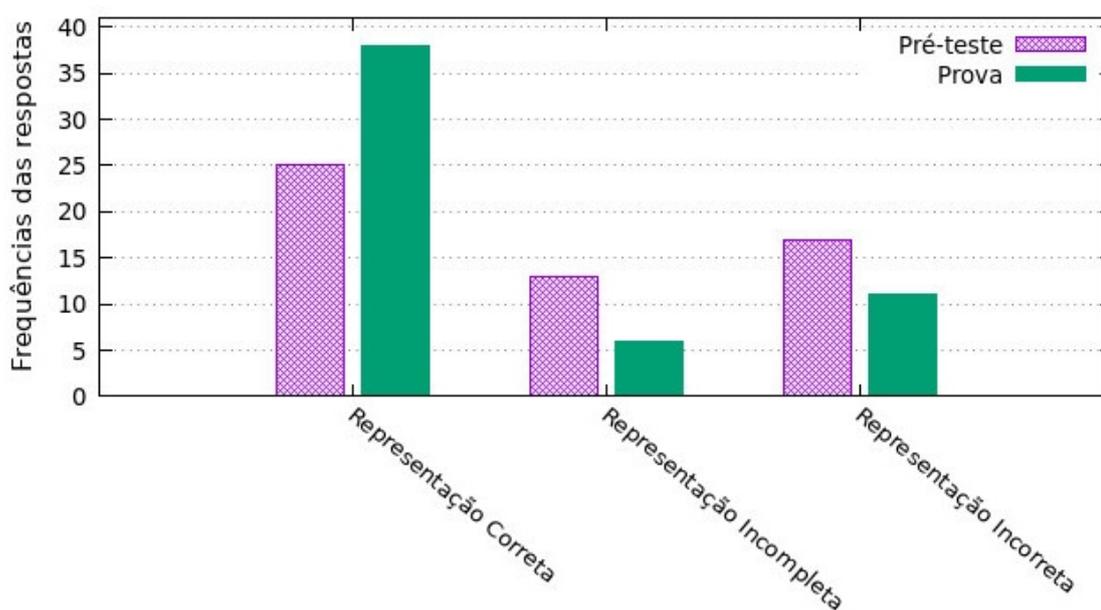
Nas respostas categorizadas como **Representação incompleta**, os alunos representam corretamente cada uma das fases lunares, no entanto erram a sequência delas. É importante ressaltar que não diferenciamos o aspecto com que determinada fase é observada em decorrência da localização do observador na superfície da Terra. No diagrama que ilustra a categoria **Representação incompleta** apresentado na Tabela 4, por exemplo, o aluno representa corretamente cada uma das fases que seriam observadas por um observador localizado no hemisfério sul, mas ele nomeia a sequência de maneira incorreta, trocando a ordem das fases crescente e minguante. Portanto, essa diferenciação do aspecto de cada uma das fases em função da posição do observador na superfície da Terra não foi considerada na análise desta questão.

Diferentemente da perspectiva global exigida pela questão **Q1** onde alguns alunos não apresentam uma explicação para o fenômeno; no caso da questão **Q2** percebemos que praticamente todos conseguem apresentar uma representação das fases lunares observadas.

Sendo assim, não há a necessidade de diferenciar os alunos que representam incorretamente e aqueles que não representam as fases de uma perspectiva local. De qualquer modo, há apenas um caso em que o aluno apresenta uma explicação global (na **Q1**) e não apresenta uma sequência de fases observadas na **Q2**; esse caso foi incluído na categoria **Representação incorreta**.

As frequências de respostas dos alunos para a **Q2** em cada uma das etapas avaliativas é apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Frequências de respostas para a Q2 no pré-teste e na prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a Figura 31 acima, no pré-teste 25 (45%) alunos conseguiam representar corretamente uma sequência de fases lunares observadas. Esse número aumenta na prova, pois 38 (69%) desenharam uma sequência de fases considerada correta, o que entendemos como um efeito positivo após a interação com os objetos de visualização propostos.

As Figuras 30 e 31 ilustram, portanto, de maneira independente (em termos das perspectivas envolvidas) uma evolução positiva das explicações dos estudantes de uma etapa avaliativa para a outra. Ou seja, os alunos, em geral, elaboram mais representações locais e globais consideradas corretas na prova do que no pré-teste.

Até aqui analisamos o desempenho dos alunos nas **Q1** e **Q2** de maneira independente. Nosso objetivo com isso foi o de olhar especificamente para o desempenho deles em cada uma das perspectivas envolvidas. A partir de agora lançaremos um olhar voltado para a forma como eles indicam transitar e integrar esses dois tipos de representação visual. Buscamos, portanto, analisar não apenas cada uma das questões isoladamente, mas ambas como uma unidade de modo a entender se há correspondências e se elas consistem numa explicação (visualização) plausível para as fases lunares.

O primeiro passo para essa análise integrada das questões envolve a contingência entre as categorias de resposta adotadas em cada uma delas. Sendo assim, é possível assumir, por exemplo, que aqueles que apresentam simultaneamente respostas consideradas corretas em ambas, conforme os exemplos apresentados nas Tabelas 3 e 4, indicam transitar e integrar corretamente as representações visuais locais e globais envolvidas. Em contrapartida, há casos nos quais a comparação das respostas dos alunos a essas duas questões nos mostram que há transição entre as perspectivas, mas que elas são integradas de maneira equivocada. Além disso, percebemos que existem casos que indicam não transitar, reduzindo a sua explicação para as fases lunares a apenas um tipo de representação visual, local ou global. Na Tabela 5 apresentamos as combinações das categorias de respostas das **Q1** e **Q2** que nos levaram a inferir sobre essa transição. Como há 5 categorias de resposta para a **Q1** e 3 categorias de resposta para a **Q2**, temos 15 possíveis combinações de respostas que foram reduzidas em 4 categorias, conforme ilustra a Tabela 5.

Tabela 5 - Contingência - as categorias de resposta para as Q1 e Q2.

Categorias Q1	Categorias da Q2	Combinação das Q1 e Q2
Geometria correta	Representação correta	Transição correta
	Representação incompleta	<i>Transição incorreta</i>
	Representação incorreta / não elabora representação local	
Geometria incoerente (iluminação)	Representação correta	Transição incoerente
	Representação incompleta	
	Representação incorreta	<i>Transição incorreta</i>
Geometria incompleta	Representação correta	
	Representação incompleta	
	Representação incorreta	
Geometria incorreta	Representação correta	
	Representação incompleta	
	Representação incorreta	
Não representa	Representação correta	<u>Não transita</u>
	Representação incompleta	
	Representação incorreta	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 5 apresentamos todas as combinações possíveis de resposta para as duas questões. Os alunos que indicam transitar e integrar corretamente as representações visuais local e global são aqueles que respondem simultaneamente de maneira correta nas duas questões. Esse é o único caminho que leva à categoria **Transição correta** (grifado em **negrito**). Por outro lado, há diversas combinações de resposta nas duas questões as quais indicam que os alunos transitam entre as duas perspectivas, mas as integram de maneira equivocada. Todos esses casos foram categorizados como **Transição incorreta** (grifados com o *Itálico*). Há também situações em que a combinação das duas perspectivas torna a resposta incoerente em relação aos lados iluminados e não iluminados da Lua, essa categoria foi chamada de **Transição incoerente**. Por fim, os casos que só respondem a uma ou a outra questão (perspectiva) foram categorizados como **Não transita** (grifado com o sublinhado). Como mencionado anteriormente, são pouquíssimos os casos que não elaboram uma representação local na **Q2** (apenas um caso no pré-teste e dois casos

na prova), portanto, como não há a categoria “Não representa” na análise da referida questão, esses casos foram incluídos na categoria **Representação incorreta**.

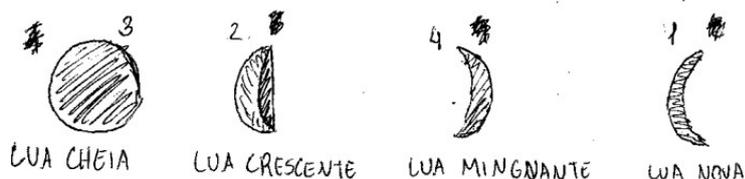
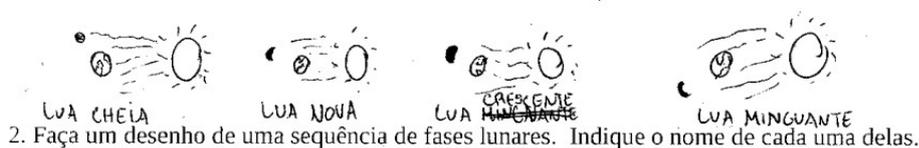
Ilustramos a seguir cada caso, o primeiro deles é um exemplo de transição e integração incorreta das duas perspectivas. Iniciamos por esse caso primeiro porque ele é o mais recorrente e, segundo, porque ele foi utilizado como parâmetro para a definição do que foi considerado ser uma correta transição e integração de ambas as perspectivas.

O aluno 2917 apresenta as seguintes respostas ilustradas na Figura 32:

Figura 32 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 2917. Exemplo da categoria Transição incorreta.

1. Explique, utilizando um diagrama, a ocorrência das fases lunares.

As fases da lua dependem da sombra que a terra faz ~~sobre~~ ^{sobre} a lua

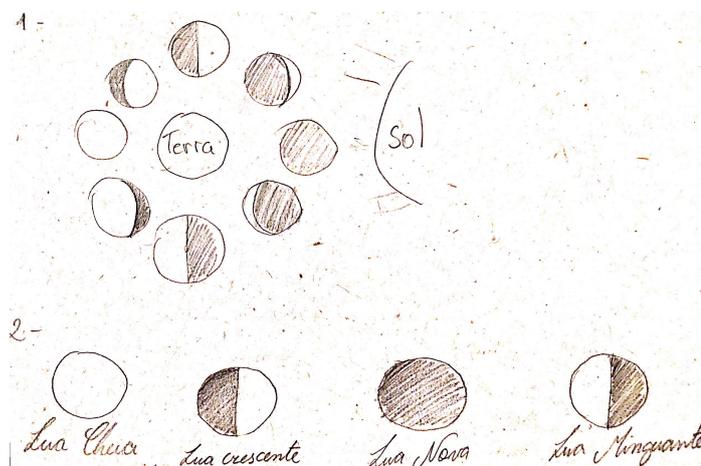


Fonte: Respostas do aluno 2917.

A explicação apresentada pelo aluno 2917 no desenho elaborado na Q1 (perspectiva global) e a sua complementação verbal indicam uma concepção prévia recorrentemente citada na literatura de pesquisa, a confusão com a explicação de um eclipse lunar. A ideia de que as fases são causadas pela sombra projetada pela Terra (ENGESTRÖM, 1991; KRINER, 2004; LELLIOT e ROLLNICK, 2010).

As respostas do Aluno 4017 representam um exemplo da categoria **Transição incoerente** (Figura 33).

Figura 33 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4017. Exemplo da categoria Transição incoerente.



Fonte: Respostas do aluno 4017.

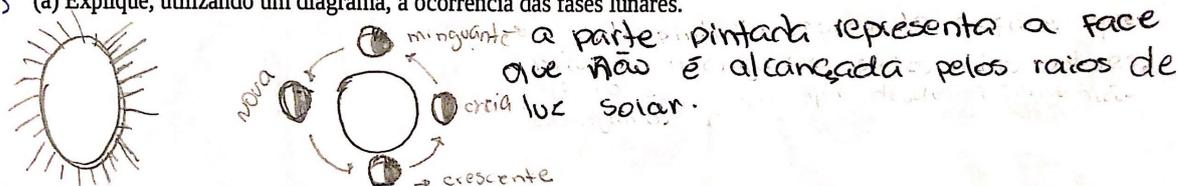
As explicações do aluno 4017 para as **Q1** e **Q2** enfatizam uma característica bastante recorrente, a incoerência interna da representação dos lados iluminados e não iluminados da Lua no diagrama global (**Q1**). É interessante notar que o diagrama global representa exatamente aquilo que o aluno observa do referencial terrestre (**Q2**). As fases crescente e minguante, por exemplo, são representadas no diagrama global de maneira invertida da mesma forma como elas são observadas na perspectiva local e isso torna o diagrama internamente incoerente, principalmente, em relação à direção e o sentido dos raios solares que determinam as partes iluminadas e não iluminadas da Lua (destacadas pelo aluno na perspectiva global). Desenhos elaborados por estudantes contendo essa mesma incoerência interna já foram apresentados em outros trabalhos (IACHEL, LANGHI e SCALVI, 2008; FAGUNDES, SILVA e BARROSO, 2015).

No referencial global adotado para explicar o fenômeno, a inversão das fases crescente e minguante, por exemplo, não ocorre. Ao mudarem de perspectiva, no entanto, os alunos indicam levar “essa inversão” observada a partir do nosso ponto de vista (associada ao formato esférico da Terra) para a perspectiva global.

Em contrapartida, há casos que comparados com os mencionados acima, indicam transitar e integrar corretamente as mesmas perspectivas. O aluno 4517 é um exemplo.

Figura 34 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517. Exemplo da categoria Transição correta.

(a) Explique, utilizando um diagrama, a ocorrência das fases lunares.



(b) Faça um desenho de uma sequência de fases lunares, indicando claramente na figura o nome de cada uma delas.

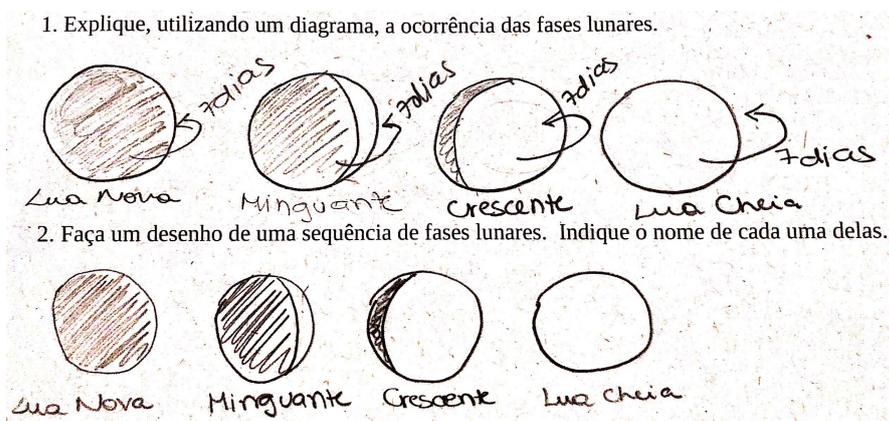


Fonte: Respostas do aluno 4517.

Diferentemente do caso anterior, o aluno 4517 indica com seus desenhos (Figura 34) perceber que no referencial global os lados iluminados da Lua estão sempre voltados para o Sol e que a “inversão” das fases minguante e crescente é um efeito causado pela perspectiva local. O que configura como uma transição e integração correta dessas distintas perspectivas.

Ainda há os casos onde os alunos utilizam apenas uma ou outra perspectiva para explicar as fases lunares. Nesses casos não conseguimos lançar um olhar para a transição entre as diferentes formas de representação visual envolvidas. O caso mais recorrente é o de alunos que não conseguem explicar o fenômeno através de uma perspectiva global, ou seja, eles apresentam apenas uma sequência de fases lunares observadas (perspectiva local) sem externalizar uma explicação de outra perspectiva. Esses casos foram classificados como **Não transita** (Figura 35).

Figura 35 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 2017. Exemplo da categoria Não transita.

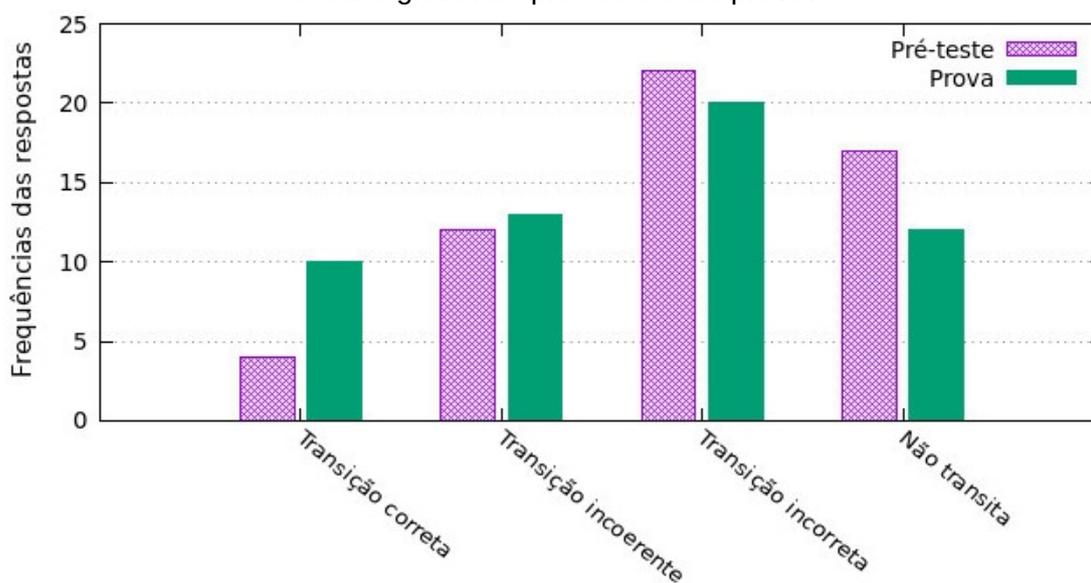


Fonte: Respostas do aluno 2017.

O exemplo da Figura 35 é a resposta do aluno 2017; em ambas as questões ele utiliza o mesmo tipo de representação visual. Neste caso, a sequência representada de fases observadas pelo aluno também é utilizada para explicar o fenômeno na **Q1**. Como já discutido anteriormente na apresentação dos resultados da rotação síncrona da Lua, esse caso está diretamente associado com a confusão entre as fases e as faces da Lua voltadas para a Terra.

Com a descrição dos exemplos para cada uma das possibilidades de transição (ou não) dessas distintas representações visuais exigidas pelas questões, podemos agora lançar um olhar para as frequências de cada categoria definida. Isso nos dá um panorama geral da forma como os alunos associam esses tipos de representação visual. No histograma a seguir (Figura 36), apresentamos os resultados nas duas etapas avaliativas envolvidas.

Figura 36 - Frequências de respostas considerando as transições entre as perspectivas local e global no pré-teste e na prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

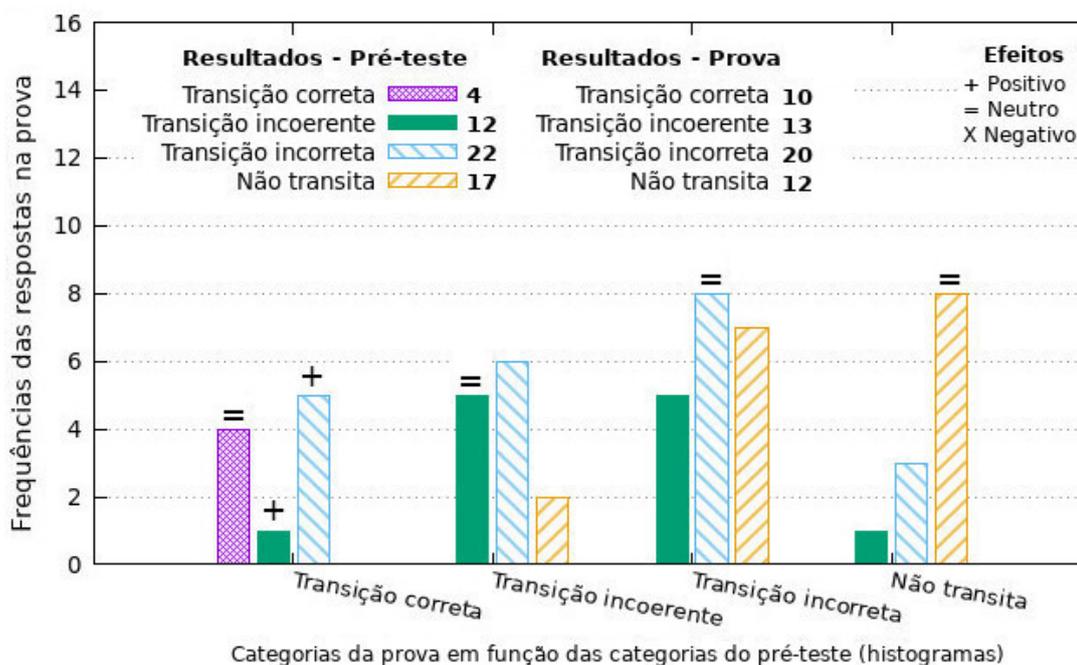
Do histograma (Figura 36) vemos que um número pequeno deste universo, apenas 4 (7%) alunos indicavam transitar e integrar corretamente as fases lunares observadas e as suas respectivas explicações (via perspectiva global) no pré-teste. Verificamos que esse número aumenta na prova, onde 10 (18%) estudantes indicam transitar corretamente entre ambas as perspectivas. No mesmo caminho, o número

de casos que indica não transitar entre as perspectivas consideradas diminui de 17 (31%) para 12 (22%). Esses resultados são entendidos como efeitos positivos após os estudos com os materiais propostos na disciplina.

No entanto, o que chama mais a atenção no histograma (Figura 36) são, respectivamente, o número de alunos que conseguem elaborar explicações em ambas as perspectivas, mas transitam de maneira incorreta ou incoerente. O caso mais recorrente em ambas as etapas avaliativas é o da **Transição incorreta**, são 22 (40%) casos no pré-teste e 20 (36%) na prova.

Podemos também analisar o desempenho dos estudantes nas duas etapas avaliativas considerando o resultado da prova em função do pré-teste como fizemos na seção anterior na apresentação dos resultados sobre a rotação síncrona lunar (Figura 24). Com isso, caracterizamos os “efeitos” causados após a interação com os objetos de visualização propostos. No histograma a seguir (Figura 37), o efeito positivo é destacado com o sinal (+), o efeito neutro com o sinal (=) e o efeito negativo com a letra (X).

Figura 37 - O histograma apresenta os resultados da prova em função das respostas no pré-teste durante o Procedimento B. Na parte superior são apresentados os resultados individuais de cada etapa avaliativa e as legendas correspondentes às barras do histograma.



Fonte: Elaborada pelo autor.

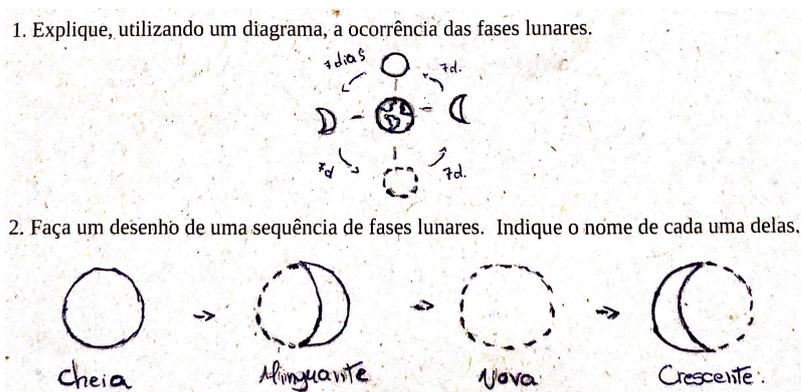
No histograma é possível identificar que não há efeito negativo (X), todos os 4 (7%) estudantes que indicavam transitar e integrar corretamente os diagramas globais e as fases lunares observadas continuam respondendo da mesma forma na prova (efeito neutro =). Identificamos também no histograma 6 (11%) casos considerados como efeito positivo (+), pois passam a associar as perspectivas analisadas de maneira considerada correta na prova. Dentre eles, um transitava de maneira considerada incoerente enquanto outros 5 (9%) transitavam de forma incorreta.

Apesar de não identificarmos efeito negativo, vemos que o efeito neutro (=) foi dominante. Se somarmos todos aqueles destacados no histograma (Figura 37) são 25 (45%) casos. Ou seja, quase metade dos estudantes continuam respondendo da mesma forma na prova, indicando que não há mudanças na sua forma de transitar e integrar as representações visuais acerca do tema ao longo do curso.

Um resultado que não foi considerado como positivo, mas que representa evolução em relação ao pré-teste é o dos 6 (11%) estudantes que transitavam incorretamente e passam a transitar de maneira considerada incoerente na prova. Do mesmo modo, outros 2 (4%) que indicavam não transitar, passam a responder dessa forma na etapa avaliativa final. A transição incoerente é a categoria que mais se aproxima daquela considerada correta, pois é uma incoerência bastante específica no desenho sobre a perspectiva global que torna “incorreto” o diagrama elaborado pelos estudantes.

Entendemos ser relevante mostrar alguns desses casos. Iniciamos com um que foi considerado como efeito positivo, pois o aluno demonstra evolução de uma etapa avaliativa para a outra. O aluno 0817 apresentava no pré-teste justificativas que foram consideradas como um caso de **Transição incorreta** conforme ilustra a Figura 38.

Figura 38 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 0817 no pré-teste. Um caso classificado como Transição incorreta.

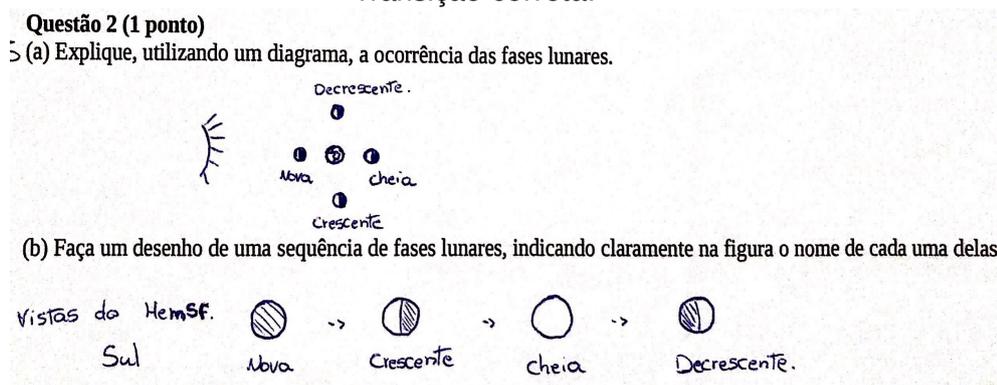


Fonte: Desenhos elaborados no pré-teste pelo aluno 0817.

O aluno 0817 apresentava um diagrama global incompleto na **Q1**, ele reproduzia as configurações observadas do referencial terrestre no diagrama global (Figura 38). A sua explicação global também não destacava a direção e o sentido dos raios solares, ele apenas destacava que cada uma das configurações observadas (resposta da **Q2**) correspondia a uma posição relativa entre Terra e Lua e, possivelmente, o Sol – o qual não foi representado na imagem. Todavia, um olhar apenas para a **Q2** nos mostra que ele conseguia representar corretamente uma sequência de fases lunares observadas da perspectiva local. No geral, ele demonstrava transitar entre as duas perspectivas envolvidas, mas as integrava de maneira incorreta.

Na prova, o mesmo estudante apresenta as seguintes justificativas:

Figura 39 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 0817 na prova. Um caso classificado como Transição correta.

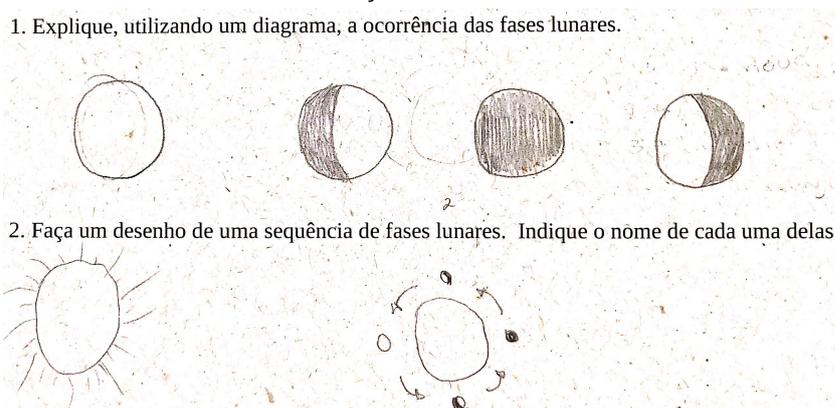


Fonte: Desenhos elaborados na prova pelo aluno 0817.

Diferentemente do diagrama apresentado no pré-teste (Figura 38), ele reproduz uma explicação correta da perspectiva global na prova (Figura 39). O Sol agora está presente no diagrama indicando a direção e o sentido dos raios solares. Além disso, os lados iluminados e não iluminados da Lua estão corretamente representados mantendo-se coerência com o sentido dos raios solares adotados. Na perspectiva local, ele continua apresentando uma sequência correta de fases lunares observadas e ainda destaca uma informação adicional que é o fato dessa configuração representada ser percebida por um observador localizado no hemisfério sul. Um olhar simultâneo para ambas as questões nos levam a considerar esse caso como sendo uma **Transição correta** das representações visuais local e global. O aluno 0817 é, portanto, um dos 6 casos de efeito positivo encontrados.

Outro exemplo de efeito positivo é ilustrado na Figura 40. O aluno 4517 apresentava as seguintes explicações no pré-teste:

Figura 40 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517 no pré-teste. Um caso classificado como Transição incoerente.

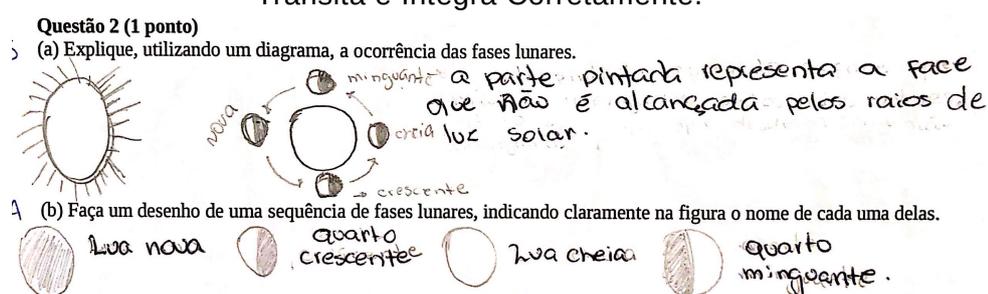


Fonte: Desenhos elaborados no pré-teste pelo aluno 4517.

No diagrama global (Figura 40) o aluno 4517 representava quatro posições relativas da Lua em relação à Terra e ao Sol demonstrando conhecer que a explicação para as fases está relacionada com a geometria de posições entre esses astros. No entanto, há um detalhe que tornava o seu diagrama global incoerente que é a representação das posições referentes às fases crescente e minguante (as quais ele não distingue). Os lados iluminados e não iluminados da Lua aparecem invertidos na perspectiva global, da mesma forma como são representados na

perspectiva local. Além disso, em nenhum momento ele apresentava os nomes de cada uma das fases que representava, o que tornava suas justificativas também incompletas. Os desenhos elaborados indicavam que ele transitava entre ambas as perspectivas, mas as integrava de maneira incoerente (**Transição incoerente**). Na prova, esse mesmo estudante indica visualizar melhor o fenômeno, como mostra a Figura 41.

Figura 41 - Respostas das Q1 e Q2 do aluno 4517 na prova. Um caso classificado como Transita e Integra Corretamente.



Fonte: Desenhos elaborados na prova pelo aluno 4517.

Após a interação com os objetos de visualização, o aluno 4517 apresenta explicações mais consistentes em ambas as perspectivas. O diagrama global elaborado (Figura 41) demonstra bastante evolução em relação àquele apresentado no pré-teste (Figura 40). Ele agora é internamente consistente, ou seja, todos os lados iluminados e não iluminados da Lua estão em acordo com a direção e o sentido dos raios solares. Além disso, há uma descrição verbal que complementa a representação visual elaborada e as posições da Lua são nomeadas, o que não ocorria antes. O aluno apresenta também na prova uma sequência de fases lunares observadas e as nomeia corretamente. As explicações nas perspectivas global e local estão corretas e correspondentes entre si, o que configura uma transição correta e é entendido como indicativo de visualização correta do fenômeno.

É importante ressaltar que como os desenhos elaborados são bidimensionais e representam uma perspectiva sobre (ou sob) o plano orbital lunar não é possível analisar com essas questões se os estudantes entendem que os planos orbitais da Terra e da Lua não são os mesmos.

Com isso, analisamos uma questão fechada sobre esse assunto que foi

aplicada em duas avaliações distintas da disciplina, o pré-teste on-line e o teste impresso. A questão mencionada busca identificar se os estudantes compreendem a justificativa para o fato de não ocorrerem eclipses solares e lunares todos os meses: *Por que não ocorrem eclipses do Sol e da Lua todo mês? (a) Por causa da inclinação do eixo da Terra. (b) Por que a órbita da Lua está inclinada cerca de 15° em relação à eclíptica. (c) Por que a órbita da Terra é uma elipse. (d) Por que a órbita da Lua está inclinada cerca de 5° em relação à eclíptica.*

Ressaltamos que o universo de alunos considerado (Quadro 13) sofreu uma redução, pois são 42 estudantes que fazem todas as avaliações analisadas neste semestre (pré-testes on-line e impresso complementar, teste impresso e prova).

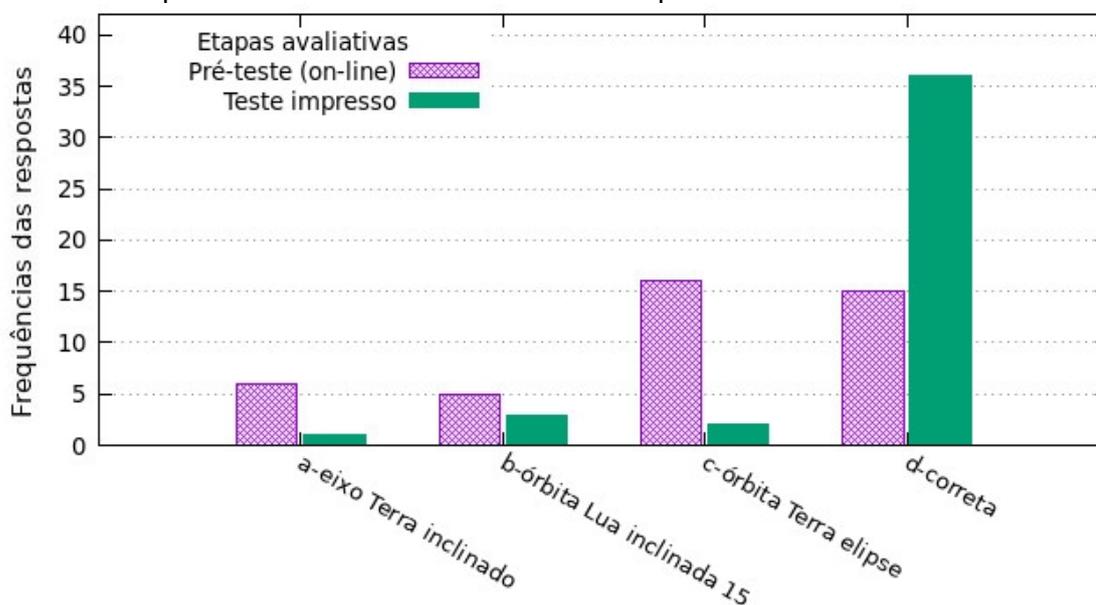
Quadro 13 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Fases da Lua – Procedimento B.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2017-1	1 semestre	- Pré-teste recorrente (on-line) - Pré-teste impresso complementar - Teste impresso - Prova	122	42

Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina.

No histograma a seguir (Figura 42) apresentamos as frequências de respostas para a questão aplicada nas duas etapas avaliativas.

Figura 42 - Resultados da questão que investiga a justificativa para a não ocorrência mensal de eclipses. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal que representam as opções da referida questão e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa analisada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Do histograma (Figura 42) vemos que o resultado do pré-teste indicava que muitos estudantes desconheciam a inclinação da órbita lunar em relação à eclíptica. A justificativa mais adotada na etapa avaliativa inicial era aquela que associa o fenômeno ao “formato” da órbita da Terra (opção “c”). No teste impresso a quantidade de respostas consideradas corretas aumenta significativamente de 15 (36%) para 36 (86%). Além disso, alguns alunos ainda continuam adotando a opção “b” que representa uma opção parcialmente correta (a inclinação entre os planos é de cerca de 5°, a opção considera um ângulo de cerca de 15°).

Portanto, esse resultado é um indicativo de que houve evolução na visualização dos planos orbitais da Terra e da Lua (e a inclinação entre ambos) por parte dos alunos após os estudos com os objetos de visualização propostos. Outro resultado pertinente é o fato de que todos os estudantes que indicam mudar de perspectiva transitando entre os pontos de vista local e global de maneira coerente (**Transição correta**) escolhem na etapa avaliativa final a alternativa considerada correta para essa questão (opção “d”).

6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DAS FASES DA LUA

A análise dos resultados de aprendizagem sobre as fases lunares foi realizada através de um procedimento:

- Procedimento B – semestre 2017-1 - A aplicação de um questionário impresso e complementar ao pré-teste on-line possibilitou a análise dos objetos de visualização externalizados pelos estudantes antes dos estudos propostos no âmbito da disciplina. As mesmas questões abertas e que envolvem duas perspectivas consideradas essenciais para a explicação do fenômeno foram replicadas na prova deste semestre. Apesar desse tema não ter sido objeto do Procedimento A, alguns resultados sobre a rotação síncrona lunar, por exemplo, indicavam a dificuldade de visualização do assunto por parte dos estudantes.

Os resultados de aprendizagem indicam que houve uma evolução significativa por parte dos estudantes quando analisamos ambas as perspectivas de maneira independente. O número de diagramas globais corretos e de desenhos que representam uma sequência das quatro fases principais lunares aumenta de uma etapa avaliativa para a outra.

Quando analisamos ambas as perspectivas de maneira integrada encontramos 6 (11%) casos considerados como efeito positivo, pois indicam transitar corretamente após os estudos com os materiais disponibilizados no AVA da disciplina.

Todavia, quando consideramos a transição entre os tipos de representações visuais, encontramos significativos indícios de dificuldades de visualização do fenômeno no pré-teste e na prova. Ao buscarem uma explicação global para as fases observadas a partir do referencial terrestre, muitos estudantes ainda produzem diagramas (objetos de visualização) incorretos ou internamente incoerentes, pois os lados iluminados e não iluminados da Lua não estão de acordo com a própria convenção adotada por eles. Esse resultado é considerado neutro, pois não houve mudanças (em termos da transição considerada) nas explicações dos alunos.

Os objetos de visualização didáticos dedicados ao auxílio na interpretação desse assunto disponibilizados no AVA da disciplina são o vídeo Eclipses Solares e a

hipermídia Fases da Lua (Capítulo 4). O vídeo ao promover uma “viagem” pelo sistema Sol-Terra-Lua com diversas mudanças de perspectivas possibilita, por exemplo, a construção de uma visão global do fenômeno (posições relativas entre Sol, Terra e Lua) sobretudo quando a Lua se encontra na posição correspondente à fase nova (quando podem ocorrer eclipses solares). A hipermídia Fases da Lua promove via modelos visuais orientações visuais bastante específicas sobre as posições lunares (global) correspondentes a cada fase principal lunar observada (nova, crescente, cheia e minguante).

O aumento do número de respostas consideradas corretas desses dois tipos de representações visuais na prova é um indicativo de que de modo geral esses materiais auxiliam os estudantes na construção de imagens mentais acerca do assunto e na visualização das posições relativas entre os três astros (Sol, Terra, e Lua). Além disso, notamos que houve aumento da escolha da opção considerada correta em uma questão fechada e que identifica a explicação para a não ocorrência de eclipses com frequência mensal, um indício de que os estudantes compreendem que os planos orbitais da Lua e da Terra não são os mesmos.

No entanto, há também indicativos de que os alunos ainda possuem dificuldades, principalmente com a interpretação (visualização) das duas perspectivas (local e global) destacadas por eles. Quando analisamos a maneira como os alunos indicam transitar e integrar esses distintos pontos de vista notamos que há bastante dificuldade de associá-los.

Iniciamos na próxima seção a apresentação dos resultados encontrados para o tema Estações do Ano.

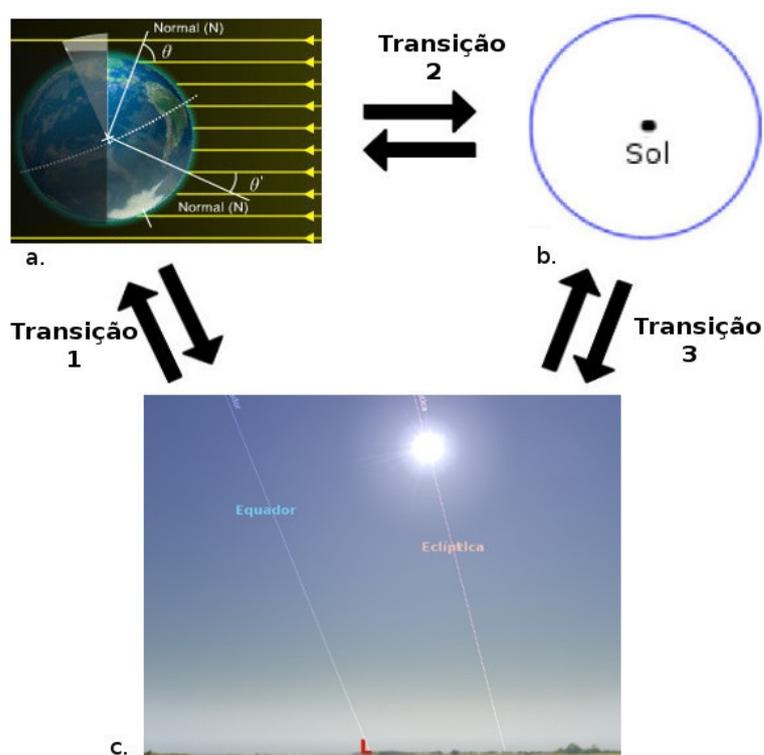
6.6 AS ESTAÇÕES DO ANO – PROCEDIMENTO A

Ao contrário da análise dos dois temas anteriores (Rotação Síncrona e Fases da Lua), não faremos uma análise comparativa entre pré e pós avaliação das explicações atribuídas pelos estudantes para as estações do ano. Isto porque, conforme destacamos no Capítulo 3, são assumidas pelo menos três transições entre três tipos de representação visual essenciais para a visualização correta deste fenômeno (Figura 43). A complexidade de analisar

todas essas três transições nos levou a diluir a coleta de dados ao longo dos Procedimentos A e B e das etapas avaliativas da disciplina.

Descrevemos novamente a seguir as transições que estamos analisando sobre esse tema, pois elas serão mencionadas com frequência nos resultados encontrados.

Figura 43 - Os três tipos de representação visual e as transições envolvidas na explicação das estações do ano.



Fonte: (a) imagem retirada de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>. (b) imagem adaptada de Canalle (2003). (c) imagem adaptada do software *Stellarium*.

Um observador numa localidade específica na superfície da Terra deve associar a variação do caminho aparente que o Sol faz no céu (o que gera dias mais longos no verão do que no inverno, por exemplo) com a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano orbital (Transição 1). Além disso, é importante que ele faça também uma associação entre essa inclinação e o próprio movimento orbital onde é possível visualizar as posições relativas entre o Sol e a Terra ao longo do ano e ao mesmo tempo visualizar que um hemisfério

ficará mais exposto do que o outro em determinados momentos (Transição 2). Conforme apresentamos no Capítulo 3, a Transição 2 geralmente é ilustrada em modelos curriculares elaborados para tratar desse tema. Por fim, é essencial a associação correta da perspectiva local com aquilo que imaginamos ser a forma da órbita terrestre. A Transição 3 representa o reconhecimento de que a distância Terra-Sol não muda significativamente ao longo do ano, pois a órbita do planeta em torno do Sol é pouco excêntrica (pouco achatada). Portanto, não explica o fenômeno (DIAS e PIASSI, 2007).

Nos 8 semestres compreendidos entre 2013 e 2016 (Procedimento A) a análise desse tópico se restringiu ao pré-teste. Neste período 961 alunos responderam ao referido questionário (Quadro 14).

Quadro 14 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Estações do ano – Procedimento A.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2013-2016	8 semestres	-Pré-teste	961	961

Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina.

Analisamos as concepções prévias dos estudantes acerca do fenômeno e buscamos através delas identificar indicativos de dificuldades que eles eventualmente possuem com as referidas Transições 1 e 3. Especialmente sobre esta última que se refere à maneira como os alunos associam (ou não) a forma orbital da Terra e a explicação para o fenômeno.

Indicativos sobre a Transição 2 não foram encontrados neste momento porque ela envolve, pelo menos, a elaboração de desenhos por parte dos estudantes. Ou seja, para entendermos como eles associam o eixo inclinado (em relação ao plano) e o movimento orbital é essencial que os estudantes externalizem representações visuais acerca dessa ideia, pois é bastante difícil descrevê-la apenas no modo de representação verbal. Com os desenhos podemos, por exemplo, identificar uma concepção prévia destacada por Parker e Heywood (1998), a ideia da Terra “cambaleante” (SABOTA e SOBREIRA, 2011).

Ocorre que o pré-teste é repondido on-line, o que impossibilita essa análise. No Procedimento B buscamos melhorar a avaliação dessas transições a partir dos resultados preliminares obtidos.

No pré-teste aplicado durante o Procedimento A foram analisadas duas questões, uma que visa identificar o formato da órbita terrestre imaginada pelos estudantes e outra onde eles devem apresentar as suas explicações para a ocorrência das estações (Quadro 15).

Quadro 15 – Questões sobre estações do ano no pré-teste - Procedimento A

Procedimento A- Questionário 2-1 - Pré-teste
<p>Q3. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;"> <p>(a) (b) (c) (d)</p> </div> <p>Q9. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano?</p>

Fonte: Pré-teste aplicado na U2 da disciplina entre 2013-2016.

Como a **Q3** é de múltipla escolha, identificamos as frequências de respostas para cada uma das categorias preestabelecidas. No caso desta questão, a resposta correta é a alternativa “b”, a qual apresenta uma elipse com excentricidade bastante pequena (muito difícil de se distinguir de uma circunferência). Todas as demais alternativas apresentam elipses com excentricidades muito maiores e não representam de forma fidedigna a órbita da Terra, portanto foram consideradas incorretas. Para facilitar a apresentação dos resultados trocamos as imagens por uma descrição verbal das mesmas onde: a=excêntrica horizontal, b=pouco excêntrica, c=excêntrica vertical, d=muito excêntrica. As opções “a” e “c” possuem a mesma excentricidade, no entanto o que as distingue é fato do semieixo maior estar orientado na horizontal ou vertical.

Uma implicação da órbita terrestre ser muito excêntrica seria a de que a variação de distância Terra-Sol causaria variações de temperatura significativas no planeta. Dias e Piassi (2007), por exemplo, estimam que se a variação de distância

entre o afélio (máximo afastamento) e o periélio (máxima aproximação) fosse da ordem de 20%, esse fator seria equivalente ao da inclinação do eixo na determinação das temperaturas registradas na Terra. As elipses representadas pelas opções “a”, “c” e “d” da **Q3** provocariam variações de distância entre afélio e periélio superiores a 20%, independentemente da localização adotada para o Sol.

As respostas à **Q3** (Tabela 6) mostram que a ampla maioria dos alunos acredita que a figura que melhor representa a órbita da Terra é aquela apresentada na alternativa “d”, a elipse mais excêntrica.

Tabela 6 - Frequências de respostas da Q3

Pré-teste: Questão 3- Qual das figuras a seguir (Figura 1) você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)		
Categorias	Frequência	Percentual
Excêntrica horizontal (a)	147	15%
Pouco excêntrica (b)	76	8%
Excêntrica vertical (c)	63	7%
Muito excêntrica (d)	675	70%
Total	961	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

Enquanto, apenas 76 (8%) alunos selecionam a opção pouco excêntrica (quase uma circunferência) considerada correta, outros 675 (70%) escolhem como representante da órbita da Terra a elipse com maior excentricidade disponibilizada pela questão. Essa dificuldade já foi bastante discutida na literatura de pesquisa em ensino de ciências e muitos trabalhos apresentam o mesmo resultado (CAMINO, 1995; CANALLE, 2003; BARRIER, 2010; SOBREIRA, 2010; SABOTA e SOBREIRA, 2011; LANGHI e NARDI, 2012; VARELA LOSADA et al, 2015; TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016). O resultado que encontramos é mais um indicativo de que esse quadro pouco se alterou de anos anteriores pra cá.

É importante ressaltar, no entanto, que esse resultado implica em pelo menos duas situações: os estudantes simplesmente reproduzem aquilo que boa parte dos modelos curriculares clássicos ilustra, sem perceber o efeito de perspectiva (TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016). Ou compreendem de fato que a elipse é exageradamente excêntrica, o que está de acordo com uma variação

de distância considerável entre os dois astros ao longo do ano.

Quanto ao primeiro caso, o instrumento de coleta de dados utilizado limita qualquer tipo de inferência; seria necessário entrevistar os estudantes para se fazer qualquer afirmação mais precisa. Todavia, a segunda situação pode ser encontrada durante a análise da **Q9** (Quadro 15). Isto porque, ao explicarem as causas do fenômeno os alunos podem estabelecer essa associação.

As respostas da questão aberta **Q9** foram agrupadas e reduzidas em categorias elaboradas a partir das explicações mais frequentes apresentadas pelos alunos. As categorias são apresentadas abaixo, exemplos de cada categoria de resposta e as suas respectivas frequências são apresentadas na Tabela 7.

a) *O eixo de rotação da Terra é inclinado* (**Eixo inclinado (Correta)**) – respostas onde os alunos explicam que as estações do ano ocorrem devido à inclinação do eixo de rotação da Terra.

b) *O eixo de rotação da Terra é inclinado e a proximidade-afastamento da Terra ao Sol* (**Eixo inclinado + Variação da distância ao Sol**) – respostas onde os alunos explicam que as estações do ano são causadas tanto pela inclinação do eixo de rotação quanto pela variação de distância entre os dois astros.

c) *Movimento de translação* (**Translação**) - respostas onde os alunos utilizam apenas o movimento de translação da Terra para justificar a existência das estações.

d) *Proximidade e afastamento Terra-Sol* (**Variação da distância ao Sol**) – respostas onde os alunos justificam que as estações do ano são causadas pela proximidade e pelo afastamento entre a Terra e o Sol.

e) *Demais respostas incorretas* – outras justificativas consideradas incorretas e que foram agrupadas nessa categoria. Além disso, inclui alunos que não respondem e/ou não sabem responder.

Tabela 7 - Exemplos e frequência das categorias de respostas da Q9

Categorias de resposta Q9 – explicação para a existência das estações do ano			
Categorias	Exemplos	Freq.	(%)
Eixo inclinado (Correta)	<i>“Esse fenômeno ocorre devido a inclinação do eixo de rotação da Terra relativo ao seu plano de translação”. Aluno 703</i>	587	61%
Eixo Inclinado + Variação da distância ao Sol	<i>“Pelo fato da Terra realizar o movimento de translação ao Sol, sofrendo variações de calor e temperaturas de acordo com sua proximidade e o ângulo do seu eixo, conseqüentemente esse movimento é a origem das estações do ano.” Aluno 1351</i>	67	7%
Translação	<i>“Por causa da Translação.” Aluno 1246</i>	109	11%
Variação da distância ao Sol	<i>“A proximidade do sol. Como a terra gira em uma elipse: mais longe do sol é o inverno e mais perto é o verão.” Aluno 1313</i>	130	14%
Demais respostas incorretas	<i>“As estações do ano variam, pois o eixo é inclinado e assim, partes da Terra se aproximam mais do Sol enquanto outras estão mais distantes.” Aluno 1215</i>	68	7%
Total		961	100%

Fonte: Elaborada pelo autor a partir do pré-teste aplicado na U2.

Os resultados da Q9 indicam que a explicação mais frequente para as estações do ano é aquela considerada correta (**O eixo de rotação da Terra é inclinado**). Do universo de 961 alunos, 587 (61%) adotaram essa justificativa. Dentro deste grupo percebemos a existência de dois tipos de resposta correta, uma delas onde os alunos apenas mencionam como justificativa o eixo de rotação inclinado (40%) e outra onde eles mencionam o eixo de rotação inclinado em combinação com o movimento orbital (21%).

Esses casos indicam que utilizam o caminho da Transição 1 para a explicação do fenômeno e em momento algum mencionam a variação de distância Terra-Sol (via Transição 3). Por outro lado, a impossibilidade de avaliação da Transição 2 não permite que sejam diferenciados os indivíduos que visualizam corretamente a explicação das estações daqueles que possivelmente apresentam a ideia da Terra “cambaleante” (PARKER e HEYWOOD, 1998; SABOTA e SOBREIRA, 2011). Portanto, apesar de considerada correta pela argumentação verbal, essa categoria de resposta não implica necessariamente num indicativo de visualização correta do fenômeno.

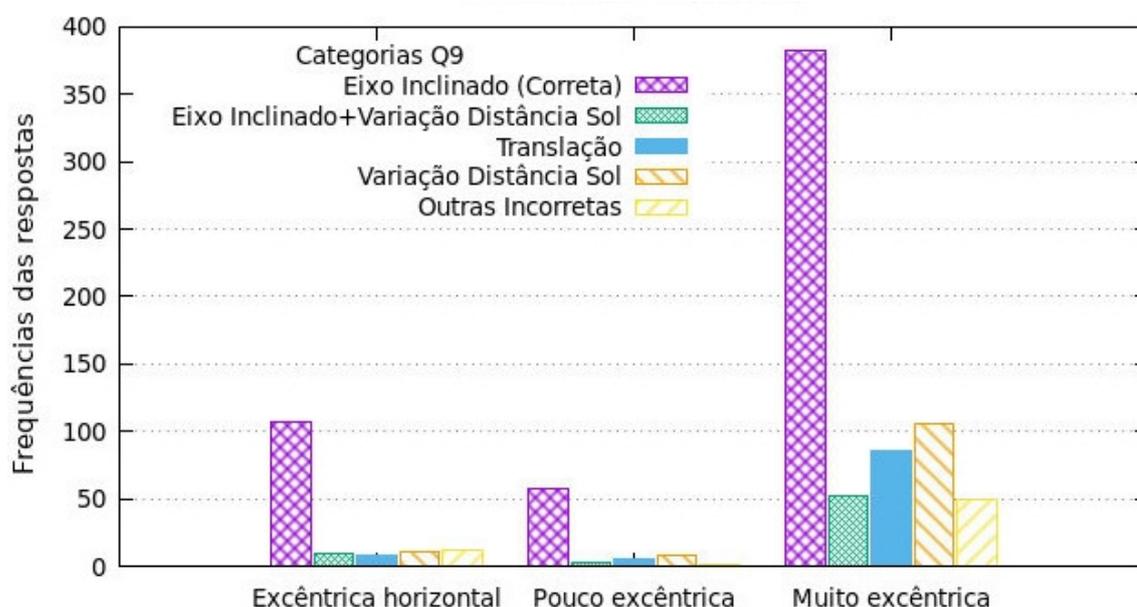
Outra justificativa encontrada é representada pelo grupo que acredita que tanto a inclinação do eixo terrestre como a variação de distância Terra-Sol contribuem para o fenômeno, 67 (7%) alunos adotaram a justificativa **Eixo inclinado+Variação da distância ao Sol**, resultado já destacado na literatura por outros autores (CAMINO, 1995; PARKER e HEYWOOD, 1998).

Curiosamente, encontramos um número significativo de justificativas onde os alunos mencionam apenas o movimento de translação terrestre como causa das estações do ano, justificativa (**Translação**) adotada por 109 (11%) alunos. Outro grupo justifica a existência das estações do ano pela proximidade e pelo afastamento entre o nosso planeta e o Sol, esse foi o caso dos 130 (14%) que adotaram a justificativa **Variação da Distância ao Sol**.

Ambos os casos destacados acima dão indícios de que não fazem a Transição 1, mas indicam utilizar apenas a Transição 3 para associar o fenômeno com o movimento orbital da Terra. No caso da justificativa **Translação** não é possível fazer inferências sobre a forma como os estudantes utilizam a Transição 3, isto porque eles não explicitam se a variação de distância é um fator relevante para a explicação do fenômeno. No entanto, os casos que utilizam a justificativa **Variação da Distância ao Sol** indicam uma associação incorreta da forma orbital terrestre com a explicação das estações.

Podemos agora analisar a combinação entre as justificativas para estações do ano (**Q9**) e a forma que eles atribuem para a órbita terrestre na **Q3**. Na Figura 44 apresentamos essa combinação. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias da **Q3** (excêntrica horizontal, pouco excêntrica e muito excêntrica). A opção “excêntrica vertical” por ser pouco adotada pelos alunos foi desconsiderada, uma vez que sua combinação com as respostas da **Q9** se torna irrelevante. Ainda no eixo horizontal, cada barra individualmente representa uma categoria de resposta da **Q9**. No eixo vertical estão representadas as frequências de resposta para cada caso.

Figura 44 - Combinação de respostas das Q3 e Q9. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias da Q3 (excêntrica horizontal, pouco excêntrica e muito excêntrica) e pelas barras que representam individualmente cada uma das categorias da Q9.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O histograma (Figura 44) ilustra que o número de alunos que adota um modelo orbital considerado correto (pouco excêntrica) e ao mesmo tempo apresenta uma justificativa considerada correta para a existência das estações na Q9 é muito pequeno. Em um universo de 961 alunos, apenas 58 (6%) satisfazem essa condição.

Enquanto que as combinações mais frequentes indicam ser bastante inconsistentes, cerca de 490 (51%) alunos adotam as órbitas excêntrica horizontal ou muito excêntrica (107 e 383, respectivamente) e justificam a existência das estações de forma correta pela inclinação do eixo de rotação. Um resultado bastante semelhante é encontrado por Varela-Losada et al (2015).

O contraexemplo dessa situação são os 61 (6%) casos onde os alunos adotam as mesmas órbitas e utilizam a justificativa **Eixo inclinado+Variação da distância ao Sol**. Nesse caso, além de mencionarem a inclinação do eixo terrestre, percebe-se que há relação entre a maneira como o aluno imagina ser a órbita e as consequências que isso acarreta para quem está na superfície da Terra (ainda que incorretamente).

O mesmo ocorre com o grupo formado por 117 (12%) que adotam as mesmas órbitas e apresentam a justificativa **Varição da distância ao Sol**. Neste caso, no entanto, os alunos indicam apenas utilizar a Transição 3 incorretamente, pois se a variação de distância Terra-Sol fosse significativa, o tamanho aparente do Sol mudaria significativamente ao longo do ano (ALMEIDA, 2013), por exemplo.

Na próxima seção apresentamos o Procedimento B, onde buscamos analisar com maior precisão a visualização interpretativa dos alunos a respeito do tema. Ele foi baseado nesses resultados preliminares encontrados no período (2013-2016).

6.7 AS ESTAÇÕES DO ANO – PROCEDIMENTO B

O tema estações do ano foi o enfoque nos instrumentos de avaliação da disciplina no primeiro semestre de 2018 (Quadro 16). Neste semestre foram inseridas questões nos instrumentos de avaliação que possibilitaram uma análise mais específica das transições entre os tipos de representação visual envolvidos na explicação deste fenômeno.

Quadro 16 - Síntese dos dados analisados e reduzidos. Estações do ano – Procedimento B.

Período	Número de semestres	Etapas avaliativas analisadas	Número de alunos participantes (dados analisados)	Número de alunos que participaram de todas as etapas avaliativas analisadas (dados reduzidos)
2018-1	1 semestre	-Pré-teste -Pós-teste leituras -Teste impresso -Teste impresso complementar -Prova	130	90

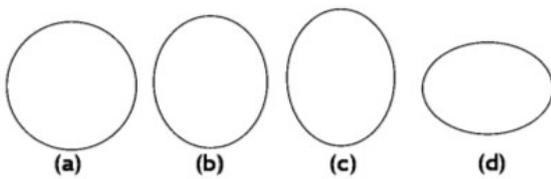
Fonte: Elaborado pela autor a partir das planilhas digitais da disciplina.

Neste semestre 90 estudantes participaram de todas as etapas avaliativas (pré-teste, pós-teste leituras, testes impressos e prova) analisadas.

6.7.1 Pré-teste

O pré-teste aplicado em 2018-1 possui as mesmas questões que já vinham sendo aplicadas durante o Procedimento A (2013-2016). Houve apenas uma modificação nas opções da **Q3** (Quadro 17):

Quadro 17 – Questões sobre estações do ano no pré-teste de 2018-1

Procedimento B – Pré-teste
<p>Q3. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;">  <p>(a) (b) (c) (d)</p> </div>
<p>Q7. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano?</p>

Fonte: Pré-teste aplicado na U2 do semestre 2018-1.

Os resultados encontrados são equivalentes ao que já apresentamos para o período 2013-2016, ou seja, a maioria dos alunos, 74 (82%), adota a elipse “muito excêntrica” como representante da órbita terrestre (**Q3**). Enquanto que, 48 (53%), justificam as estações do ano (**Q7**) afirmando que o eixo de rotação da Terra é inclinado.

É importante destacar também que a descrição das figuras que representam as opções de resposta da Q3 (Quadro 17) foram modificadas, pois elas não são as mesmas da questão aplicada no Procedimento A. Seguindo o mesmo raciocínio que usamos naquele procedimento elas são denominadas: a=pouco excêntrica, b=excêntrica vertical, c=muito excêntrica vertical e d=muito excêntrica horizontal (continuaremos chamando-a apenas de “muito excêntrica”). A opção considerada correta agora é a opção “a” que foi adotada por apenas 2 (2%) alunos no pré-teste.

6.7.2 Leituras e vídeo

Após a realização do pré-teste os estudantes interagem com três materiais propostos na U2 conforme descrito no Capítulo 4:

- **Vídeo** Jornada pelo Sistema Solar
Endereço: https://www.youtube.com/watch?v=yLPHP_084hl.
- **Texto 1** – Movimentos no Sistema Solar (Anexo A)
- **Texto complementar** – Cônicas: A elipse (Anexo B)

O *link* de acesso ao vídeo “Jornada” direciona para uma parte específica dele onde os movimentos orbitais dos planetas do Sistema Solar são apresentados de um ponto de vista onde não há efeito de perspectiva.

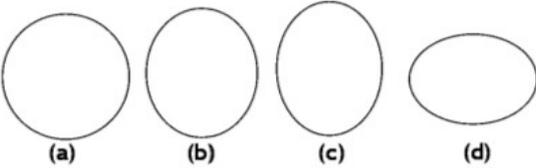
Os textos apresentados nos Anexos A e B também abordam o assunto de maneira complementar àquilo que é apresentado no vídeo. Em ambos há uma discussão sobre a excentricidade de elipses.

6.7.3 Pós-teste leituras

No pós-teste aplicado após a interação com os materiais destacados na seção anterior inserimos duas questões que nos permitem analisar se os argumentos verbais dos estudantes estão de acordo com as imagens que eles adotam para a forma orbital da Terra. Além disso, a inclusão possibilita uma comparação com os resultados da mesma questão sobre o formato orbital a qual é aplicada também em outras etapas avaliativas (pré-teste e teste impresso).

As questões sobre a forma orbital da Terra aplicadas e analisadas nesta etapa avaliativa foram:

Quadro 18 – Questões sobre estações do ano no pós-teste de 2018-1

Procedimento B – Pós-teste leituras
<p>Q14. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> <div style="text-align: center;">  <p>(a) (b) (c) (d)</p> </div>
<p>Q15. Justifique sua escolha na questão anterior.</p>

Fonte: Pós-teste leituras (questionário on-line) aplicado na U2 do semestre 2018-1.

Um resultado pertinente que conseguimos atingir com as repetições propostas é a comparação dos resultados da **Q14** onde os alunos selecionam a figura que melhor descreve o movimento orbital com a sua respectiva justificativa verbal (**Q15**). Essa combinação nos permite analisar se de fato os alunos compreendem que a órbita elíptica da Terra é pouco excêntrica possuindo uma imagem mental correspondente ou se apenas reproduzem visualmente àquilo que a maior parte dos modelos curriculares reproduz, a órbita vista com efeito de perspectiva (“achatada”).

Antes de mostrarmos tal combinação é preciso apresentar a redução das respostas à **Q15**; elas foram reduzidas em 4 categorias:

a) *A excentricidade da elipse é muito pequena* (**Correta**) – respostas que destacam a baixa excentricidade da elipse que representa a órbita terrestre.

b) *A elipse é quase circular* (**Incompleta**) – justificativas que associam a órbita elíptica com um formato quase circular, mas não explicitam ou mencionam a excentricidade de uma elipse.

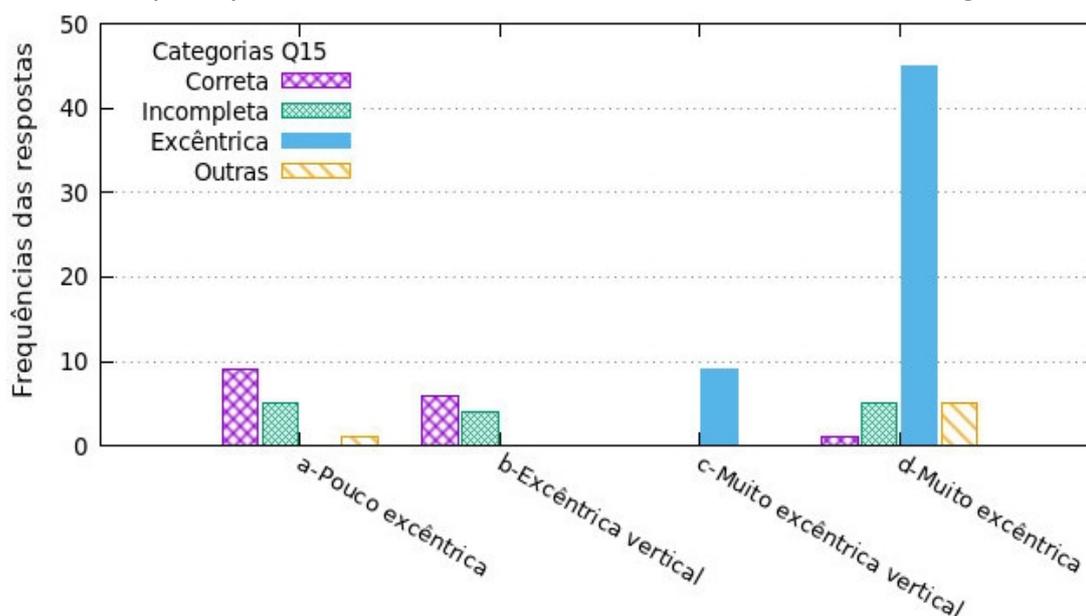
c) O formato é elíptico (**Excêntrica**) – respostas verbais que reforçam um entendimento que o formato orbital é elíptico (excêntrico como ilustra a imagem).

d) Demais respostas incorretas (**Outras**) – outras justificativas consideradas incorretas que não se enquadram nas categorias acima.

A análise dessas justificativas só se torna relevante quando as combinamos

com os resultados da **Q14** onde os alunos escolhem a figura que representa a órbita. É o que ilustra o histograma (Figura 45) a seguir, onde as respostas da **Q14** são apresentadas em função das justificativas adotadas na **Q15** (representadas pelas barras do histograma).

Figura 45 - Combinação de respostas das Q14 e Q15. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias da Q14 e pelas barras que representam individualmente cada uma delas uma categoria da Q15.



Fonte: Elaborada pelo autor

A comparação das duas questões indica que há uma ligação entre aquilo que os alunos externalizam no modo de representação verbal e aquilo que vem sendo externalizado (a mesma questão vem sendo aplicada no pré-teste desde 2013) através de representações visuais. Vemos na Figura 45 que a justificativa verbal correta está distribuída entre as figuras “a-pouco excêntrica” e “b-excêntrica vertical”, enquanto que a justificativa verbal que enfatiza o formato elíptico (excêntrico) da órbita está associado as escolhas das opções “c-muito excêntrica vertical” e “d-muito excêntrica”. Essa correlação reforça nosso entendimento de que os alunos visualizam de fato a forma orbital da maneira como escolhem a opção da **Q14**, ou seja, imaginam que ela seja “achatada” como ilustram as figuras escolhidas. Identificamos também que o grupo de alunos que adota a opção “b-excêntrica

vertical” indica que compreende verbalmente o assunto, mas ainda não possui uma imagem mental correspondente de uma elipse com baixa excentricidade ou “quase” circular. Voltaremos a essa discussão adiante.

6.7.4 Aulas virtuais, vídeo e texto complementar

Após realização do pós-teste leituras os estudantes interagem com os demais objetos de visualização disponibilizados no AVA da U2. Em quase todos eles são apresentadas informações pertinentes acerca das estações do ano e que possibilitam auxílio para as três transições assumidas como essenciais para a visualização do fenômeno. Apresentamos abaixo as partes específicas do material que promovem esse suporte:

- Aulas virtuais:

Hipermídia Caronte/Movimentos da Terra/Translação

Endereço: http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/movimentosdaterra/portugues_translacao_caracteristicas.html.

- Vídeo Eclipses Solares

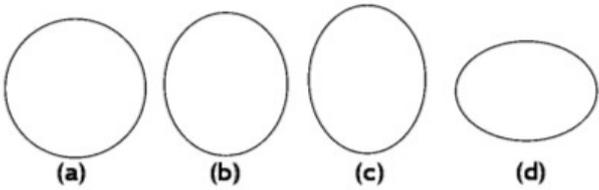
Endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=gT-hh0c-IIA>.

Depois do período de estudos com os materiais disponibilizados, os estudantes respondem ao teste impresso.

6.7.5 Teste impresso

No semestre 2018-1 foram repetidas algumas questões no teste impresso que nos possibilitaram analisar o desempenho dos alunos após o fim da U2. Uma delas foi adicionada ao teste impresso recorrente e 2 foram aplicadas na forma de um questionário complementar (teste impresso complementar) onde os alunos puderam elaborar desenhos/diagramas para apoiar as suas explicações verbais. No Quadro 19 apresentamos as questões inseridas nesta etapa avaliativa.

Quadro 19 – Questões sobre estações do ano no teste impresso e teste impresso complementar de 2018-1.

<p>Procedimento B – Teste impresso</p> <p>Q11. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p>  <p>(a) (b) (c) (d)</p>
<p>Procedimento B – Teste impresso complementar</p> <p>Q1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.</p> <p>Q3. “No mês de dezembro é verão em qualquer ponto sobre a superfície da Terra”. Você concorda com essa afirmação? Justifique.</p>

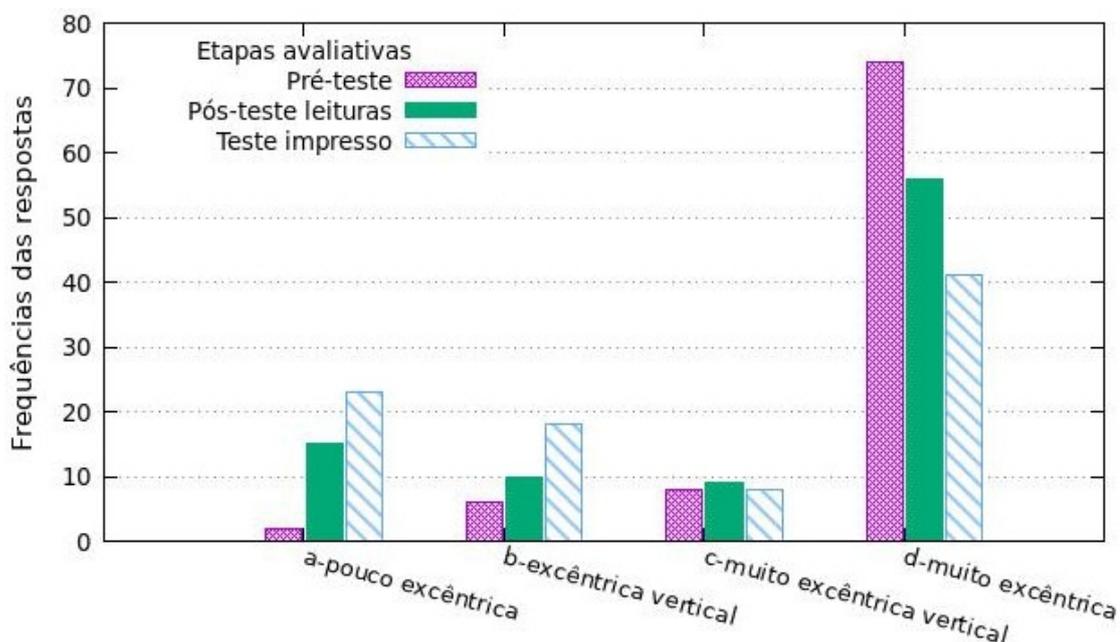
Fonte: Teste impresso e teste impresso complementar aplicados na U2 do semestre 2018-1.

Com as inserções dessas questões no teste foi possível comparar o desempenho dos estudantes de uma etapa avaliativa para a outra. A **Q3** é a única questão que não foi aplicada anteriormente nas outras etapas avaliativas. O resultado dela foi unânime, todos os alunos discordaram da afirmação, a ampla maioria citou como justificativa o seguinte fato: “quando é verão no hemisfério sul, é inverno no hemisfério norte”. Portanto, a sua análise pouco contribuiu para a pesquisa.

A **Q11** (Quadro 19) foi aplicada também nos dois questionários anteriores (pré-teste e pós-teste leituras), enquanto que a **Q1** (teste complementar) também foi aplicada no pré-teste. Portanto, neste período, é possível analisar se há evolução após as interações com os objetos de visualização propostos comparando apenas os resultados dessas questões. Interessa-nos, por exemplo, avaliar se a maioria dos alunos continua a adotar a opção “d- muito excêntrica” após o período dedicado ao estudo desse tema (**Q11**) com todos os materiais propostos.

No histograma a seguir apresentamos uma comparação dos resultados da **Q11** (Figura 46) em todas as três etapas avaliativas. As barras nesse histograma representam cada uma das etapas avaliativas, no eixo horizontal estão as categorias de resposta da questão.

Figura 46 - Resultados da questão que investiga o formato orbital terrestre em três distintos momentos. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as figuras (opções) da referida questão e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Vemos no histograma (Figura 46) dois movimentos distintos, a quantidade de estudantes que adotam as opções “a- pouco excêntrica” e “b- excêntrica vertical” cresce de uma etapa para a outra. Vimos, na seção anterior, que o aumento desses dois casos representam dois cenários distintos. No caso da opção “a”, o aumento foi de 2 (pré-teste) para 23 (teste impresso) e ele reflete os casos que indicam visualizar corretamente o movimento orbital da Terra em torno do Sol. No caso da opção “b” houve aumento de 6 para 18 (do pré-teste para o teste impresso), esse aumento também indica uma mudança na forma como os alunos imaginam ser o movimento orbital terrestre. Mostraremos mais adiante na discussão dos resultados da prova que esses casos também apresentam um modelo orbital considerado correto.

Na contramão temos as opções “c- muito excêntrica vertical” e “d- muito excêntrica” as quais diminuem de uma avaliação para a outra. Apesar desse resultado positivo que ilustra a melhoria no desempenho dos estudantes em termos de uma compreensão acerca do movimento de translação da Terra no decorrer da U2, constatamos no teste impresso que a resposta mais frequente ainda é a opção

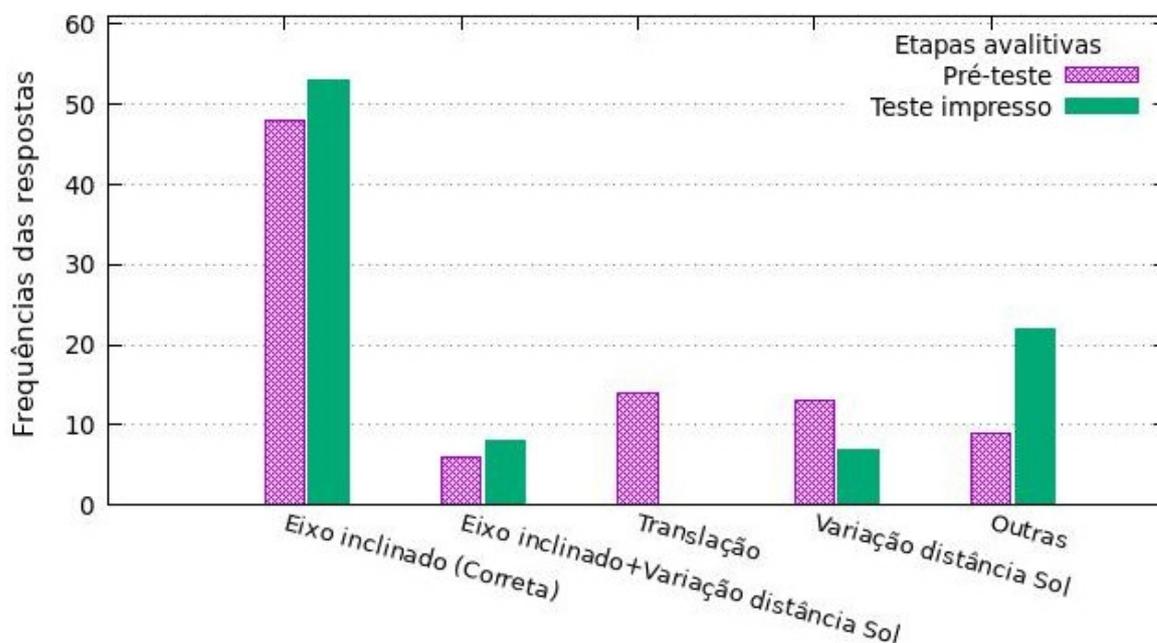
que apresenta a elipse mais excêntrica (opção “d”). Isto pode ser entendido como um indicativo de que esse conhecimento internalizado pelos alunos se mostra bastante resistente a mudanças.

O histograma ilustra também que os dois momentos de interação com os materiais propostos na U2 (seções 6.7.2 e 6.7.4) auxiliaram na visualização da geometria da órbita terrestre, pois há aumentos sucessivos de respostas consideradas corretas entre essas etapas avaliativas.

Apesar de ter sido aplicada também no pré-teste, a **Q1** do teste impresso complementar solicita um desenho complementar à explicação verbal para as estações do ano. Logo, nessa etapa avaliativa conseguimos, enfim, avaliar as representações visuais elaboradas pelos estudantes para explicar o fenômeno. As explicações utilizadas pelos alunos foram reduzidas nas mesmas categorias que já apresentamos no Procedimento A: ***Eixo inclinado, Eixo inclinado+Variação de distância ao Sol, Translação, Variação de distância ao Sol e Demais respostas incorretas (Outras)***.

No histograma (Figura 47) a seguir comparamos as explicações atribuídas pelos estudantes no teste impresso complementar com àquelas que eles apresentaram no pré-teste.

Figura 47 - Resultados da questão que investiga as explicações atribuídas pelos alunos para as estações do ano. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as justificativas mais frequentes utilizadas pelos estudantes e pelas barras que representam individualmente cada etapa avaliativa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A comparação das duas etapas avaliativas ilustra que há um pequeno aumento do número de respostas consideradas corretas (**Eixo Inclinado**), do pré-teste para o teste impresso. Em contrapartida, as respostas que associam o fenômeno exclusivamente à variação de distância da Terra ao Sol (via Transição 3) diminuem. Verificamos também no histograma um pequeno aumento das justificativas **Eixo inclinado+ Variação da distância ao Sol**, o que não é considerado um resultado positivo. Por fim, notamos que as justificativas que mencionam apenas o movimento de translação (**Translação**) da Terra não foram utilizadas no teste.

O aumento de respostas da categoria **Outras** no histograma é artificial e causado pela nossa limitação em investigar as explicações atribuídas pelos estudantes no pré-teste. Isto porque, diferentemente do teste impresso complementar aplicado em 2018-1, o pré-teste não permite que o aluno externalize uma representação visual complementar à sua justificativa verbal. As explicações dos estudantes exclusivamente no modo de representação verbal não nos

possibilitavam identificar nesta etapa avaliativa como eles “visualizam” o “eixo de rotação inclinado”. Seria inclinado em relação ao plano orbital mesmo? Qual é o referencial adotado? Além disso, não era possível entender como ocorre a transição para a perspectiva global (ponto de vista onde se pode observar a Terra com seu eixo inclinado em distintas posições em relação ao Sol); essa mudança de perspectiva caracterizada pelo que chamamos de Transição 2 (Figura 48), geralmente, é apresentada em modelos curriculares que abordam o assunto.

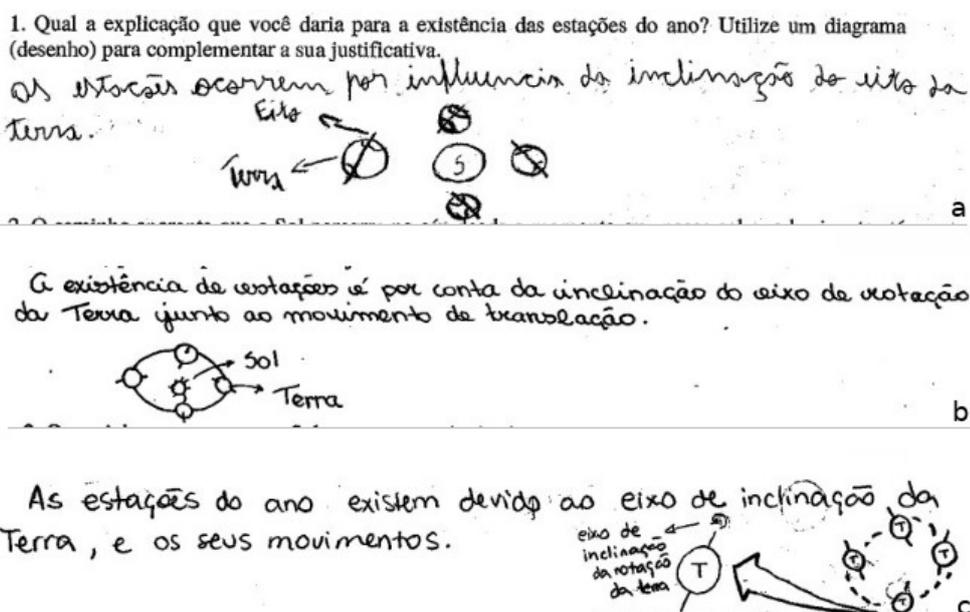
Figura 48 - Nas representações abaixo, um modelo visual (a) sobre o eixo de rotação da Terra inclinado em relação ao plano orbital. Em (b) uma representação global sobre o modelo orbital comumente adotado pelos alunos (em perspectiva).



Fonte: (a) imagem retirada de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>. (b) imagem adaptada de Canalle (2003).

Na análise da **Q1** do teste impresso complementar muitos alunos elaboram diagramas/desenhos que ilustram justamente essa transição. Todavia, ao fazê-la alguns acabam integrando incorretamente esses distintos tipos representação visual. Na Figura 49 são mostrados exemplos dessa integração incorreta; a Terra com seu eixo inclinado (em relação ao plano orbital) é representada em diferentes posições, no entanto, o eixo representado muda a sua orientação de uma posição para a outra.

Figura 49 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer a Transição 2, mas integram as duas perspectivas envolvidas de maneira equivocada.



Fonte: Teste impresso complementar de 2018-1.

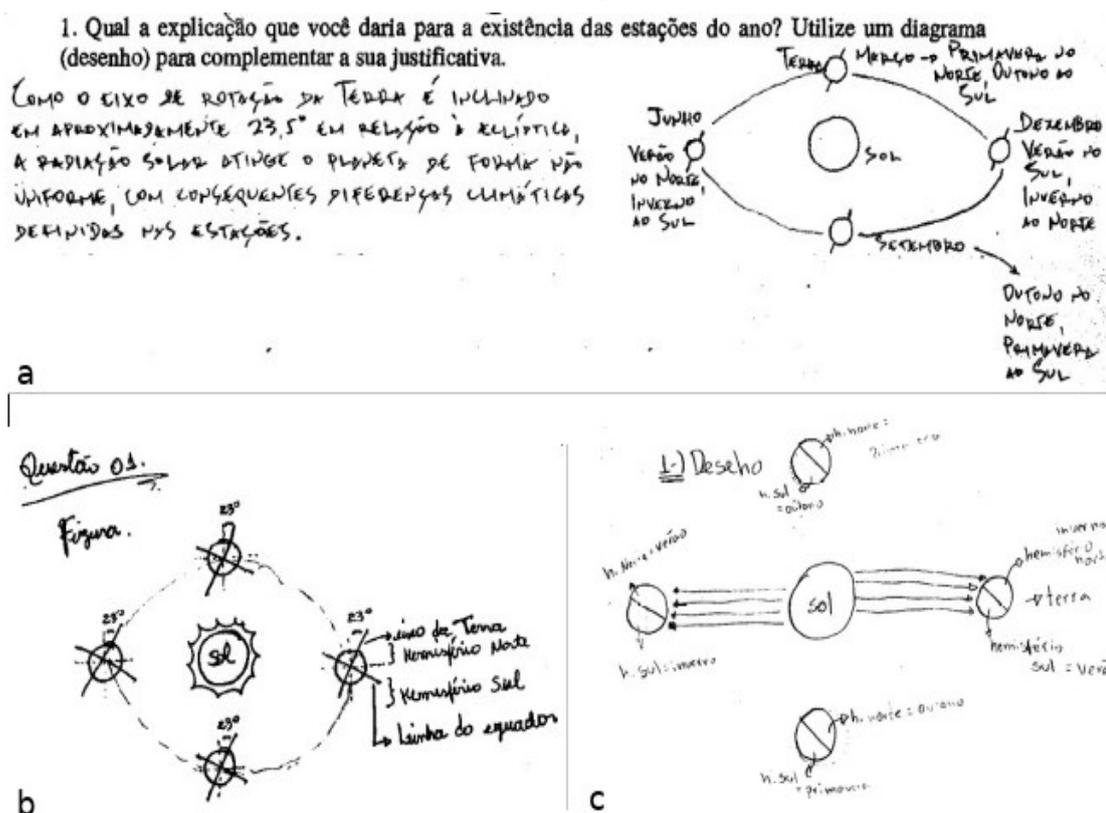
A Figura 49 apresenta três casos onde o desenho elaborado pelos estudantes ilustram a confusão ao representar o eixo de rotação inclinado em distintas posições (que configurariam cada uma das quatro estações). Essa dificuldade é recorrentemente mencionada como uma concepção prévia sobre o fenômeno, a ideia da Terra “cambaleante” (PARKER e HEYWOOD, 1998; SABOTA e SOBREIRA, 2011). Portanto, as respostas exclusivamente no modo de representação verbal de que o “eixo de rotação da Terra é inclinado” não necessariamente são um indicativo de que os estudantes fazem a Transição 2 corretamente. Elas apenas indicam que os alunos fazem a Transição 1, ou seja, que eles associam o fenômeno ao eixo de rotação inclinado (ainda assim não é possível entender qual é o referencial adotado).

Voltando à categoria de resposta **Outras** e ao seu mencionado crescimento artificial no teste impresso, todas as justificativas exemplificadas na Figura 49 foram classificadas nessa categoria. Das 22 respostas do teste impresso categorizadas como **Outras**, 19 (21%) apresentam a ideia da Terra “cambaleante” através de desenhos. O crescimento dela, portanto, deve-se ao fato de que só foi possível identificar essa concepção prévia por parte dos estudantes quando eles

externalizaram as suas representações visuais a respeito do assunto.

Por outro lado, os objetos de visualização elaborados pelos alunos na **Q1** do teste impresso também trouxeram indicativos de que muitos conseguem fazer as Transições 1 e 2 corretamente conforme ilustram os exemplos da Figura 50.

Figura 50 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer as Transições 1 e 2 corretamente ao justificar as estações do ano.



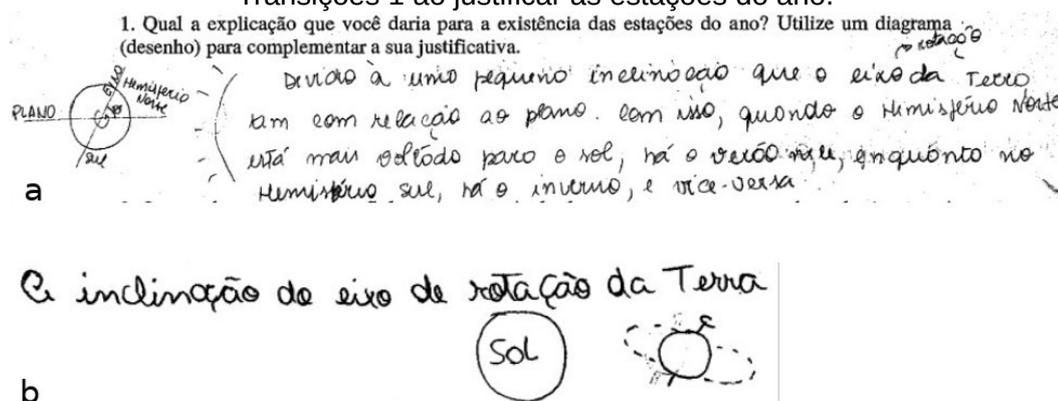
Fonte: Teste impresso complementar de 2018-1.

Diferentemente dos casos ilustrados na Figura 49, os exemplos da Figura 50 ilustram modelos visuais onde a Transição 2 foi feita de maneira coerente, assim como são apresentados na maior parte dos modelos curriculares que abordam o tema. Todos esses casos foram classificados na categoria **Eixo inclinado (Correta)** no teste impresso complementar.

Dentro do universo de 53 (59%) estudantes que respondem dessa forma no teste impresso (Figura 47), 29 (31%) elaboram diagramas considerados corretos, como os ilustrados na Figura 50. Nas demais respostas classificadas como **Eixo**

inclinado (Correta), 18 (20%) estudantes desenharam apenas o eixo da Terra inclinado, indicando fazer a Transição 1 conforme ilustram os dois exemplos mostrados na Figura 51. Há ainda um grupo de 6 (7%) alunos que apenas justificam de maneira verbal sem elaborar desenhos.

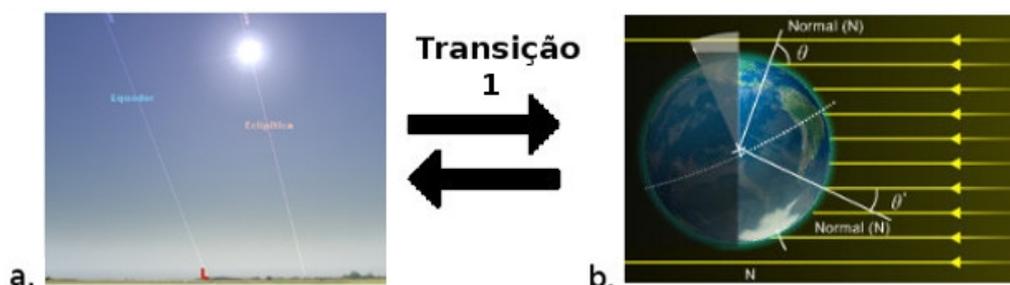
Figura 51 - Exemplos de respostas onde os estudantes indicam fazer as Transições 1 ao justificar as estações do ano.



Fonte: Teste impresso complementar de 2018-1.

A Figura 51 ilustra dois casos nos quais os estudantes desenharam o eixo de rotação da Terra inclinado em relação ao plano orbital. Esses casos indicam que usam o caminho da Transição 1 (Figura 52) para explicar aquilo que experimentam do referencial da Terra, as estações do ano. Todavia, verificamos que esses alunos não representam a órbita terrestre ao redor do Sol como os casos anteriores, assim sendo, não é possível avaliar se eles fazem a Transição 2 de forma correta ou não.

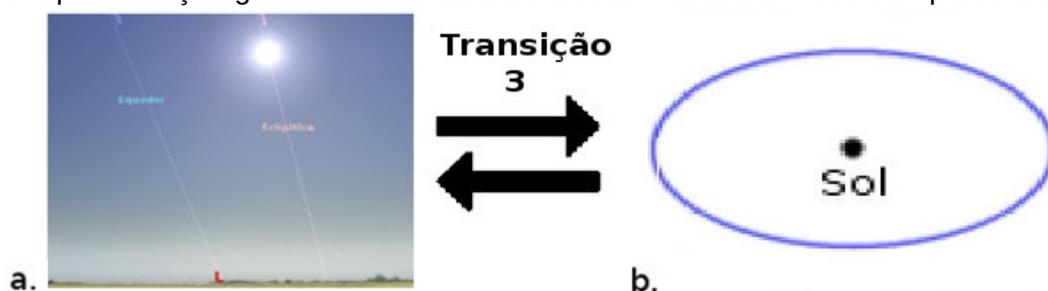
Figura 52 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) do céu vista do hemisfério sul no verão com destaque para as projeções da linha do Equador e da Eclíptica. Em (b) um modelo visual sobre o eixo de rotação da Terra inclinado em relação ao plano orbital.



Fonte: (a) imagem adaptada do software *Stellarium*. (b) imagem retirada de modelo disponível em: <http://tati.fsc.ufsc.br/webfisica/sis-solar/estacoes.htm>.

Todos os exemplos de resposta do teste impresso, até aqui ilustrados, indicam pelo menos associar as estações do ano ao eixo de rotação terrestre inclinado em relação ao plano orbital (via Transição 1 - Figura 52). Contudo, esse não é o único caminho seguido pelos estudantes ao buscar uma explicação para o fenômeno. Conforme mostra o histograma (Figura 47), após a interação com os objetos de visualização propostos alguns alunos continuam justificando o fenômeno através da variação de distância entre a Terra e o Sol via Transição 3 (Figura 53). Esses alunos não mencionam verbalmente a inclinação do eixo de rotação terrestre, bem como, não a representam nos seus desenhos elaborados, portanto indicam não fazer as Transições 1 e 2.

Figura 53 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) do céu vista do hemisfério sul no verão com destaque para as projeções da linha do Equador e da Eclíptica. Em (b) uma representação global sobre o modelo orbital comumente adotado pelos alunos.



Fonte: (a) imagem adaptada do software *Stellarium*. (b) imagem adaptada de Canalle (2003).

No teste impresso complementar 6 (7%) alunos utilizam a justificativa **Varição de distância ao Sol** que usa exclusivamente a Transição 3 como caminho para a explicação do fenômeno. Um exemplo é apresentado na Figura 54.

Figura 54 - Exemplo da justificativa Varição de distância ao Sol via Transição 3.

1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa. *A Terra gira em torno do Sol formando uma elipse, cujo raio vetor que liga a Terra ao Sol varia de tamanho, ora se aproximando do Sol, ora se afastando.*



Fonte: Teste impresso complementar de 2018-1.

No entanto, como mostramos no Procedimento A, há situações nas quais os alunos utilizam mais que um fator para explicar as estações do ano, são os casos que utilizam a justificativa **Eixo Inclinado+Variação de distância ao Sol**. Nesse sentido, a elaboração de representações esquemáticas, por parte dos alunos, permitiu-nos identificar as situações ilustradas pela Figura 55.

Figura 55 - Exemplos da justificativa *Eixo Inclinado + Variação de distância ao Sol*.

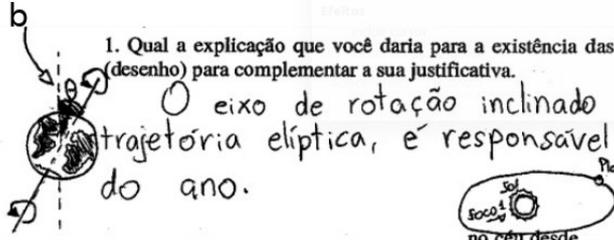
a 1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.

O eixo de rotação da terra possui uma angulação de $23,5^\circ$ em relação à elíptica e a trajetória de translação da terra em relação ao sol é uma elipse e a terra possui rotação em torno de seu eixo.



b 1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.

O eixo de rotação inclinado do planeta, aliado à sua trajetória elíptica, é responsável pela existência das estações do ano.

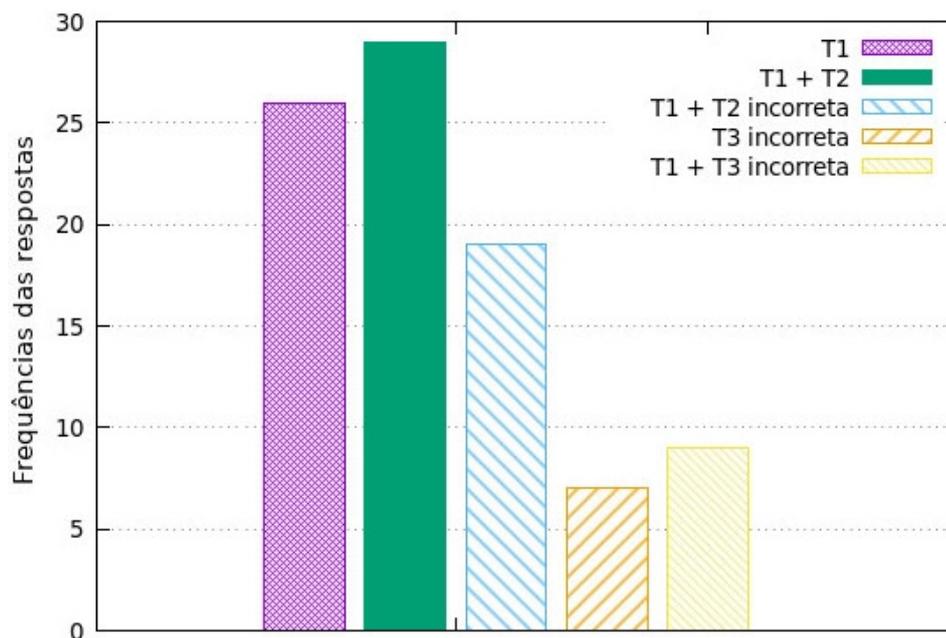


Fonte: Teste impresso complementar aplicado na U2 em 2018-1.

Os dois casos exemplificados na Figura 55 indicam fazer a Transição 1, mas também usam a Transição 3 incorretamente para associar o formato orbital da Terra com a explicação do fenômeno.

Além da comparação entre os resultados do pré-teste e do teste impresso apresentada no histograma (Figura 47), os resultados dessa última avaliação indicam também distintos caminhos percorridos em termos das transições entre tipos de representação visual envolvidos. No histograma a seguir (Figura 56) apresentamos um resumo desse resultado que é baseado nos indicativos de transição entre representações visuais realizados pelos estudantes ao explicarem o fenômeno; as Transições 1, 2 e 3 são destacadas como T1, T2 e T3, respectivamente.

Figura 56 - Frequências dos caminhos percorridos (em termos das T1, T2 e T3) pelos estudantes ao explicarem as estações do ano na Q1.



Fonte: Elaborada pelo autor.

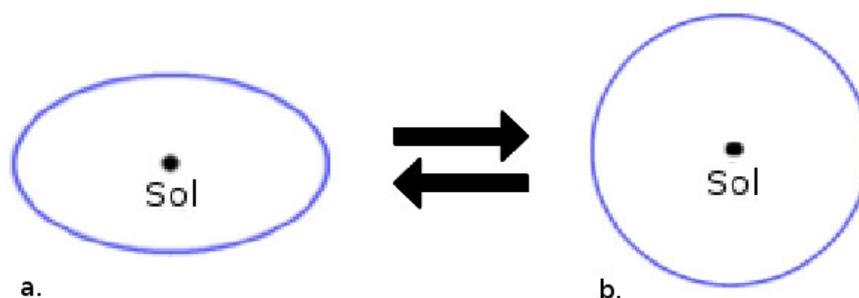
A resposta mais frequente apresentada pelos estudantes (Figura 56) é a ilustrada pela Figura 50; são os 29 (32%) casos que indicam fazer as transições 1 e 2 ($T1 + T2$) corretamente. Em seguida, há um grupo formado por 26 (29%) estudantes que apresentam apenas indícios da T1. Neste grupo estão incluídos aqueles que produzem desenhos indicando o eixo inclinado em relação ao plano orbital (Figura 51) e os que apenas descrevem isso verbalmente. O grupo formado por 19 (21%) alunos que demonstram dificuldade com a T2 ($T1+T2$ incorreta) são aqueles que ilustram a ideia da Terra cambaleante (PARKER e HEYWOOD, 1998; SABOTA e SOBREIRA; 2011), exemplificados pela Figura 49. Há ainda os 7 (8%) casos que indicam apenas associar o fenômeno com a variação de distância Terra-Sol ($T3$ incorreta) exemplificado pela Figura 54 e os 9 (10%) que usam o argumento anterior associado ao eixo inclinado ($T1+T3$ incorreta) conforme ilustra a Figura 55.

A avaliação realizada através da **Q1** do teste impresso complementar possibilitou uma análise onde encontramos indicativos sobre as transições entre as perspectivas ou tipos de representação visual envolvidos na explicação das estações do ano. No entanto, há ainda limitações importantes e que não permitem

conclusões mais claras sobre a forma como esses estudantes fazem essas transições.

A Transição 3 (T3), por exemplo, é a que menos conseguimos avaliar com os resultados encontrados na **Q1** do teste impresso complementar. Com exceção das justificativas **Varição de distância ao Sol** ou **Eixo Inclinado + Varição de distância ao Sol**, todos os demais casos não esclarecem a relação entre a “forma” orbital e a sua influência, ou não, na explicação das estações do ano. Por exemplo, todas as respostas que indicam fazer a Transição 2 corretamente ilustradas na Figura 50 apresentam a figura de uma elipse, mas não fica evidente se esse formato orbital representado pelos estudantes é decorrente de um efeito de perspectiva (Figura 57) ou se os alunos entendem mesmo que a elipse é exageradamente excêntrica como ela é representada no desenho.

Figura 57 - Nas representações abaixo, uma imagem (a) da órbita da Terra que vista “de lado” aparenta ser uma elipse com grande excentricidade – a maioria dos alunos indica acreditar que essa seja a real descrição da órbita terrestre. Em (b) uma representação fidedigna da órbita terrestre vista “de cima” ou “de baixo”.



Fonte: Imagens adaptadas de Canalle (2003).

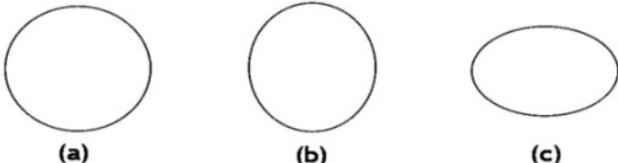
Decidimos, então, avançar nessa análise de modo a entender se os estudantes associam o formato atribuído ao movimento orbital da Terra e a sua explicação para as estações do ano. Foi o que buscamos avaliar na prova do semestre 2018-1.

6.7.6 Prova

A prova da disciplina, diferentemente do teste impresso (dedicado

exclusivamente à Unidade 2), é composta por questões referentes a todas as unidades da mesma. É realizada aproximadamente um mês após o teste impresso e no fim das três unidades de ensino da disciplina. No semestre 2018-1 propusemos a inclusão na parte discursiva desta etapa avaliativa a seguinte questão:

Quadro 20 – Questão sobre estações do ano na prova de 2018-1

Procedimento B - Prova
<p>Q3. (a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua resposta e destaque a localização do Sol na figura escolhida.</p> <div style="text-align: center;">  <p>(a) (b) (c)</p> </div> <p>(b) Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.</p>

Fonte: Prova da U2 no semestre 2018-1.

A questão inserida na prova (Quadro 20) é composta por duas partes (a e b). Na parte (a) procuramos combinar todas as possibilidades que já conseguíamos analisar no pré-teste e no pós-teste “leituras”, ou seja, os alunos escolhem a figura que melhor representa a órbita terrestre, assinalam/desenham onde está localizado o Sol justificando a resposta. No que se refere ao item (a), permite-nos obter uma informação mais aprofundada a respeito da imagem mental que os alunos possuem sobre esse movimento. No que se refere ao item (b), o mesmo, possibilita-nos avaliar se de fato os alunos associam o formato orbital adotado com a justificativa para o fenômeno.

Diferentemente do que apresentamos nas seções anteriores, lançamos agora um olhar específico para a maneira como os alunos utilizam, ou não, o modelo orbital adotado para explicar as estações do ano. Assim sendo, não apresentamos os resultados individuais de cada um dos itens da questão, pois isso tornaria a discussão muito extensa e exaustiva. Ao fazermos essa análise encontramos pelos

menos 3 formas distintas de associar ou contrariar as perspectivas envolvidas na Transição 3:

a) *Modelo orbital correto e explicação correta para o fenômeno (T3 correta)* – São os casos que adotam um modelo orbital correto (figuras “a” ou “b”) e localizam corretamente o Sol – em um dos focos, no centro ou próximo ao centro) e explicam corretamente a existência das estações do ano (eixo de rotação inclinado em relação à eclíptica/plano orbital). Foram consideradas corretas também as respostas onde os estudantes explicam verbalmente que a órbita da Terra tem excentricidade muito pequena e adotam a figura chamada de “excêntrica” (opção “a”), pois percebemos que a argumentação discursiva desses estudantes reforça o entendimento do assunto, assim como indicam aqueles que adotam a figura “pouco excêntrica” (opção “b”), mostramos dois exemplos nas Figuras 58 e 59.

b) *Modelo orbital incorreto e explicação incorreta para o fenômeno, mas correspondentes entre si (T3 incorreta)* – Nestes casos identificamos também correspondência entre o modelo orbital adotado e a explicação para as estações, tanto verbal quanto imageticamente. São os indivíduos que adotam órbitas excêntricas (opção “a”) ou muito excêntricas (opção “c”) e localizam o Sol em qualquer lugar³, ao mesmo tempo que na sua explicação para as estações enfatizam a forma orbital adotada explicitando uma associação incorreta das perspectivas envolvidas (exemplo apresentado na Figura 60).

c) *Modelo orbital incorreto e explicação correta para o fenômeno (Não transita)* – Nesta categoria, os alunos, adotam os mesmos modelos orbitais da categoria anterior mas explicam corretamente as estações sem levar em consideração a forma orbital adotada. Essas respostas são internamente incoerentes, portanto, indicam que os alunos não associam as perspectivas envolvidas (exemplo apresentado na Figura 61).

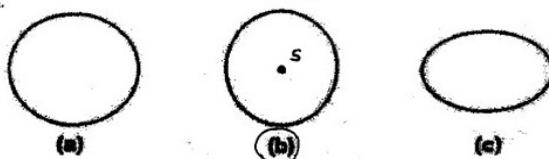
Em conformidade com as referidas categorias descritas, apresentamos exemplos das mesmas.

³ Conforme discutimos no Procedimento A, com exceção da elipse representada pela opção b, todas as demais estão em desacordo com aquilo que experimentamos na Terra. Portanto, independentemente da localização do Sol na figura, provocariam alterações que seriam perceptíveis no nosso referencial.

O primeiro caso foi classificado como uma transição correta entre as distintas perspectivas (**T3 correta**), o aluno 8918 adota a elipse “pouco excêntrica” (opção b), desenha o Sol corretamente na localização que ele imagina ser um dos focos da elipse e ainda justifica o seu modelo orbital destacando que ele é representado por um elipse pouco excêntrica (Figura 58). No item (b), reconhece que a variação de distância Terra-Sol não é um fator considerável na explicação das estações, o que configura a correspondência com o seu modelo orbital adotado e destaca o fator determinante na explicação do fenômeno.

Figura 58 - Exemplo da categoria T3 correta, a resposta do aluno 8918.

(a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua escolha e destaque a localização do Sol na figura escolhida.



A órbita da Terra em volta do Sol é elíptica, porém com uma excentricidade muito baixa, fazendo com que se assemelhe a uma circunferência. O Sol se encontra em um dos focos dessa elipse.

(b) Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.

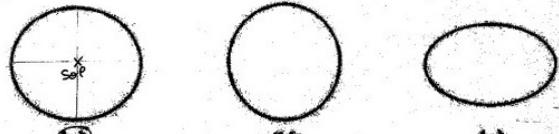
Não, visto que a ^{diferença na} distância entre a Terra e o Sol no afélio e no periélio é negligível. As estações do ano são um fenômeno que ocorre devido à inclinação do movimento da Terra em torno de seu próprio eixo, causando disparidade na intensidade de luz solar recebida por hemisfério ao decorrer do ano.

Fonte: Prova do aluno 8918.

Diferentemente do caso acima ilustrado, há uma outra situação também considerada nesta mesma categoria conforme ilustra a Figura 59.

Figura 59 - Exemplo da categoria T3 correta, a resposta do aluno 12818.

(a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua escolha e destaque a localização do Sol na figura escolhida.



A figura (a) representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol, pois essa é uma elipse com excentricidade muito baixa, ou seja, quase um círculo. O Sol está em uma das focos da elipse, portanto quase no centro da imagem.

2. Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.

Não, a forma orbital da Terra não tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano, pois o pouco que a Terra se aproxima do Sol no seu ponto mais próximo (periélio) em relação ao mais distante (afélio) não é suficiente para provocar mudanças significativas de temperatura. Além disso, quando a Terra está em seu periélio é inverno no Hemisfério Norte, apesar de ser ~~Ver~~ verão no Sul; estas mudanças não derivam à inclinação do eixo da Terra e sua translação.

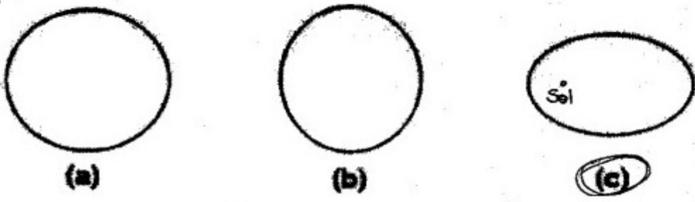
Fonte: Prova do aluno 12818.

O aluno 12818 (Figura 59) também demonstra transitar corretamente entre as perspectivas exigidas pelas questões.

Além deste grupo que indica transitar corretamente, há outro que possui uma imagem equivocada sobre a forma do movimento orbital e acredita de fato que ela seja excêntrica. Esses estudantes utilizam a forma orbital adotada para explicar a existência das estações do ano indicando transitar entre as perspectivas envolvidas e produzindo uma explicação internamente coerente, mas incorreta. Essa categoria denominada como **T3 incorreta** é exemplificada com a resposta do aluno 1818 (Figura 60).

Figura 60 - Exemplo da categoria T3 incorreta, a resposta do aluno 1818.

(a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua escolha e destaque a localização do Sol na figura escolhida.



Letra C, pois é uma elipse que possui dois focos, com o sol em um deles. Nesta elipse a ~~trajetória~~ distância da Terra para o Sol é diferente em determinados períodos, se fosse uma circunferência, esta distância sempre seria a mesma.

2. Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.

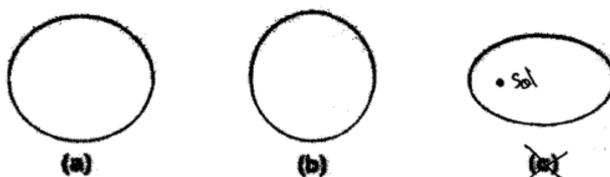
Sim. Pois a distância da Terra com o Sol, varia, acarretando assim, as estações do ano, equinócios e solstícios...

Fonte: Prova do aluno 1818.

A correspondência entre o modelo orbital adotado e a explicação para a ocorrência das estações do ano na resposta acima exemplificada (Figura 60) não ocorre nos casos classificados como **Não transita**. O exemplo a seguir é a resposta do aluno 5718 (Figura 61) que representa esta última categoria.

Figura 61 - Exemplo da categoria Não Transita, a resposta do aluno 5718.

(a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua escolha e destaque a localização do Sol na figura escolhida.



O movimento da Terra ao redor do Sol ocorre numa trajetória elíptica e não num círculo perfeito.

(b) Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.

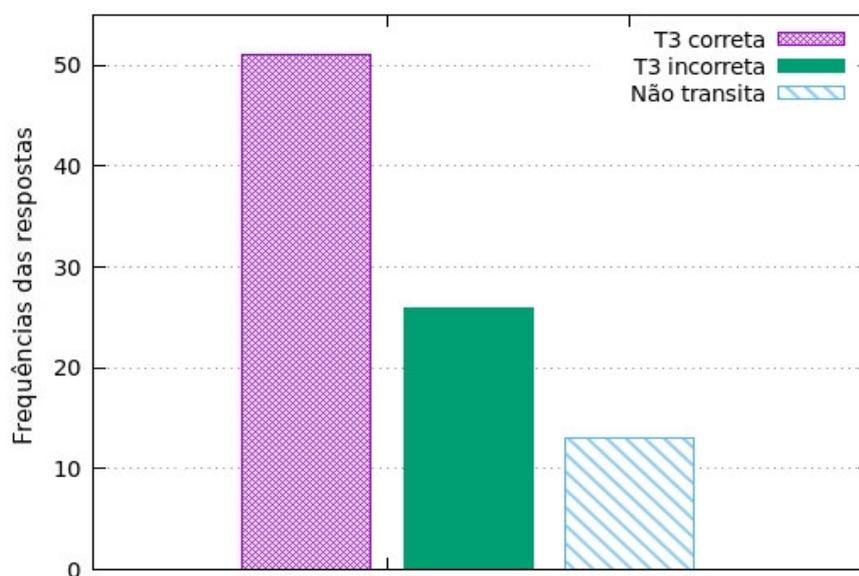
Não, as estações do ano são ocasionadas pelo eixo de inclinação que a Terra possui e independe da trajetória elíptica que a Terra percorre.

Fonte: Prova do aluno 5718.

Neste últimos dois casos, as respostas ilustram dois caminhos distintos seguidos pelos estudantes que adotam o mesmo modelo orbital exageradamente

excêntrico no momento de explicar as estações do ano. O aluno 5718 (Figura 61) explica o fenômeno através da Transição 1 sem utilizar ou perceber as consequências do seu modelo orbital (indica não fazer a Transição 3). O aluno 1818 (Figura 60) indica utilizar na explicação as características do seu modelo via Transição 3. Os resultados dessa avaliação são apresentados no histograma (Figura 62):

Figura 62 - Frequências das categorias de resposta da Q3 da Prova. Uma avaliação sobre a Transição 3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Há um grupo de 51 (57%) estudantes que indicam fazer a Transição 3 corretamente (T3 correta), isto porque esses indivíduos adotam um modelo orbital considerado correto e destacam que o fator determinante na existência das estações do ano não é a “forma” orbital, mas o eixo de rotação inclinado em relação ao plano orbital. Dentre eles, 26 (29%) adotam a figura “a”, enquanto 25 (28%) escolhem a opção “b”.

Um grupo formado por 26 (29%) estudantes demonstra associar as explicações para a existência das estações do ano com o “formato” orbital adotado (T3 incorreta) e, por isso, indica fazer a Transição 3 incorretamente.

Por fim, há um grupo de 13 (14%) estudantes que indica não perceber a incoerência interna entre os seus modelos orbitais adotados e as suas explicações para as estações do ano (Não transita).

Esse resultado obtido na prova aplicada em 2018-1 pode ser comparado e analisado de maneira conjunta com os resultados obtidos nas etapas avaliativas anteriores. Por exemplo, no teste impresso complementar foi possível avaliar melhor as Transições 1 e 2. Apesar de ocorrerem em momentos distintos (a prova ocorre cerca de um mês após o teste impresso), ambas são avaliações realizadas após a interação dos estudantes com os objetos de visualização propostos no âmbito da disciplina. A combinação desses resultados permite-nos avaliar os conhecimentos apresentados pelos estudantes em função dessas transições, após as situações de ensino e de aprendizagem.

6.7.7 Combinação dos resultados do teste impresso e da prova

Antes da apreciação dos resultados, pode-se fazer algumas considerações pertinentes. A primeira delas diz respeito aos resultados da prova que foram apresentados na seção anterior, conforme mostra o histograma (Figura 62) encontramos 3 distintas categorias associadas à Transição 3. No entanto, como o objetivo dessa combinação é o de verificar se os alunos indicam ou não possuir alguma dificuldade com as três transições destacadas (T1, T2 e T3), não seria relevante considerar todos esses 3 casos. Assim sendo, reduzimos para 2 as 3 mencionadas categorias da prova. Esta redução deve-se ao fato das respostas classificadas como **T3 incorreta** e **Não transita** formarem uma única categoria representativa da dificuldade com essa transição (**dificuldades com a T3**).

A segunda consideração está relacionada com a forma como combinaremos ambos os resultados. A quantidade de possibilidades, ou seja, caminhos seguidos pelos alunos para explicar o fenômeno são múltiplas (se considerarmos a combinação das categorias de ambas as avaliações) e tornariam a comparação muito fragmentada. Como tal, optamos por classificar o resultado final a partir das transições que os alunos indicam fazer corretamente. No entanto, para fazermos essas inferências reanalisamos ambas as avaliações e os seus resultados de modo

a identificar aquelas que os alunos indicam não fazer ou que possuem dificuldades. Com esse novo olhar encontramos 5 resultados distintos:

a) *Alunos que não apresentam dificuldades em nenhuma transição e indicam fazer todas as três transições corretamente (T1+T2+T3)*. São aqueles que apresentam uma configuração correta das T1 e T2 no teste impresso (Figura 50) e indicam fazer a T3 corretamente na prova (Figuras 58 e 59).

b) *Alunos que possuem dificuldades apenas com a Transição 2 e indicam fazer as Transições 1 e 3 (T1+T3)*. São os casos que explicitam apenas a T1 (Figura 51) ou que mudam a orientação do eixo inclinado reproduzindo a “Terra cambaleante” (Figura 49) no teste impresso e indicam fazer a T3 corretamente na prova.

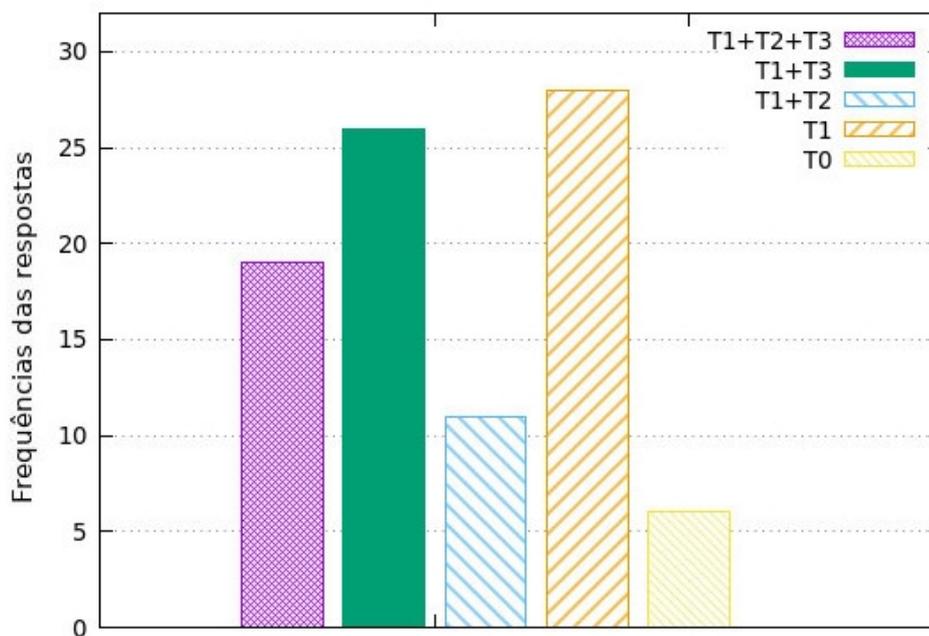
c) *Alunos que possuem dificuldades apenas com a Transição 3 e indicam fazer as Transições 1 e 2 corretamente (T1+T2)*. São aqueles que apresentam corretamente um diagrama com as T1 e T2 no teste impresso (Figura 50), mas que adotam órbitas exageradamente excêntricas na prova associando-as com a explicação das estações do ano (Figura 60) ou não (Figura 61).

d) *Alunos que possuem dificuldades com as Transições 2 e 3 e indicam fazer apenas a Transição 1 corretamente (T1)*. Casos que explicitam apenas a T1 no teste impresso (Figura 51) ou que mudam a orientação do eixo inclinado (“Terra cambaleante”) e adotam órbitas exageradamente excêntricas na prova associando-as com a explicação das estações (Figura 60) ou não (Figura 61). Também fazem parte dessa categoria os estudantes que adotam a justificativa *Variação de distância ao Sol* (Figura 54) no teste impresso e que indicam fazer a T3 corretamente na prova.

e) *Alunos que possuem dificuldades com todas as três transições (T0)*. São aqueles que utilizam a justificativa *Variação de distância ao Sol* (Figura 54) no teste impresso e continuam usando apenas a “forma” orbital (via Transição 3) para explicar as estações do ano na prova.

O resultado dessa combinação é apresentado no histograma da Figura 63.

Figura 63 - Frequências das combinações de resposta considerando os resultados do teste impresso complementar e da prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A comparação das duas avaliações mostra que 19 (21%) estudantes indicam fazer as três transições entre perspectivas visuais envolvidas na explicação das estações do ano. Identificamos um grupo de 11 (12%) alunos que desenham esquemas corretos no teste impresso complementar explicitando a T2 corretamente, mas que apresentam dificuldades com a T3 na prova (T1+T2). Há ainda um grupo formado por 26 (29%) estudantes que explicita as T1 e T3 (T1+T3), mas possui dificuldades com a T2. É importante ressaltar que dentro desse grupo 12 estudantes representam a ideia da Terra “cambaleante” e 14 simplesmente não reproduzem um diagrama que ilustra a Terra em distintas posições nas quais se poderia observar que um determinado hemisfério fica mais exposto do que o outro em diferentes épocas do ano (apresentam apenas a T1). A combinação mais frequente (T1) é formada pelo grupo de 28 (31%) alunos que além das mesmas dificuldades do grupo anterior (dificuldades com a T2), indica também possuir dificuldades com a T3 na prova. Por fim, identificamos 6 (7%) casos que utilizam incorretamente apenas o caminho da T3 para explicar o fenômeno demonstrando dificuldades com todas as três transições consideradas (T0).

6.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DE APRENDIZAGEM DAS ESTAÇÕES DO ANO

O tema estações do ano foi aquele no qual conseguimos nos aprofundar mais na análise da capacidade dos indivíduos em transitar entre distintos tipos de representação visual assumidos como essenciais para a visualização do fenômeno. Portanto, a apresentação dos resultados encontrados foi consideravelmente mais densa do que a dos demais tópicos abordados neste trabalho (Rotação Síncrona e Fases da Lua). Diferentemente dos outros dois temas, não foi possível fazer uma comparação pré e pós avaliação de modo a analisar com mais cuidado a evolução do desempenho dos estudantes e inferir sobre os efeitos causados pela interação com os materiais disponibilizados na disciplina.

A análise dos resultados de aprendizagem sobre as estações do ano foi realizada através de dois procedimentos:

- Procedimento A - de 2013 a 2016 - Neste período não propusemos alteração nos instrumentos de avaliação da disciplina. A análise do pré-teste trouxe evidências de que a maioria dos alunos associa a explicação do fenômeno à inclinação do eixo de rotação da Terra (via Transição 1). Identificamos no pré-teste que muitos apresentam uma visão equivocada sobre a forma do movimento orbital da Terra ao redor do Sol, resultado que indica uma dificuldade dos alunos em estabelecer correspondências entre o que se experimenta no cotidiano e aquilo que está ocorrendo em escalas maiores.

- Procedimento B – 2018/1 – No semestre 2018-1 foi dado um enfoque ao tema com a proposta de aplicação de um teste impresso complementar e de questões na parte discursiva da prova, o que possibilitou a análise das explicações que eles atribuem para a existência das estações e os seus respectivos modelos orbitais adotados após a interação com os objetos de visualização propostos.

Os resultados de aprendizagem indicam que no universo de 90 estudantes, 19 (21%) apresentam respostas coerentes e corretas em termos das três transições assumidas como essenciais para a visualização das estações do ano.

No entanto, o caso mais recorrente é o dos 28 (31%) estudantes que possuem alguma dificuldade com as Transições 2 e 3.

Uma dificuldade muito comum com o que chamamos de Transição 2 é a representação da ideia da “Terra cambaleante” (PARKER e HEYWOOD, 1998; SABOTA e SOBREIRA; 2011) onde o eixo de rotação terrestre varia a sua orientação ao longo do movimento orbital. Alguns estudantes, no entanto, foram classificados na mesma categoria por não apresentarem uma representação da Terra em distintas posições em relação ao Sol. Logo, não se pode afirmar que apresentam a mesma ideia dos casos anteriores.

A dificuldade mais recorrente e resistente a mudanças nas explicações externalizadas pelos estudantes está associada ao modo como eles visualizam o movimento orbital da Terra ao redor do Sol (Transição 3). No pré-teste já encontrávamos indicativos de inconsistência entre essa ideia e a explicação atribuída ao fenômeno, as quais também não são novidades na literatura de pesquisa em Educação em Astronomia (CAMINO, 1995; VARELA-LOSADA et al, 2015).

Com a repetição de questões no Procedimento B foi possível identificar uma tendência de aumento da escolha de figuras que representam a órbita da Terra de forma fidedigna no decorrer das atividades da disciplina.

Esse resultado é interessante e se mostra bastante resistente a mudanças, pois há muitos materiais disponibilizados na U2 que se propõem em auxiliar na visualização correta do movimento orbital da Terra. O vídeo Eclipses Solares ilustra diversas mudanças de perspectiva relevantes para a observação da órbita da Terra “em tempo real”. As órbitas também podem ser vistas de uma perspectiva privilegiada no vídeo Jornada no Sistema Solar e na hipermídia Movimentos da Terra (aulas virtuais).

É importante ressaltar que apesar do aprofundamento maior (em relação aos outros dois temas avaliados) esses resultados consistem em indicativos a respeito das três transições assumidas para a visualização das estações do ano. A Transição 1, por exemplo, precisa ser aprofundada de modo a entender melhor se os estudantes associam a variação do caminho aparente do Sol no céu ao longo do ano com a inclinação do eixo de rotação em relação ao plano orbital. Para avaliar com

maior profundidade como os estudantes fazem essas transições seria importante que eles elaborassem desenhos acompanhados de entrevistas conforme metodologia adotada por outros autores que investigaram as explicações atribuídas por licenciandos para o mesmo tema (CAMINO, 1995; TREVISAN SANZOVO e LABURÚ, 2016; SANZOVO, 2017).

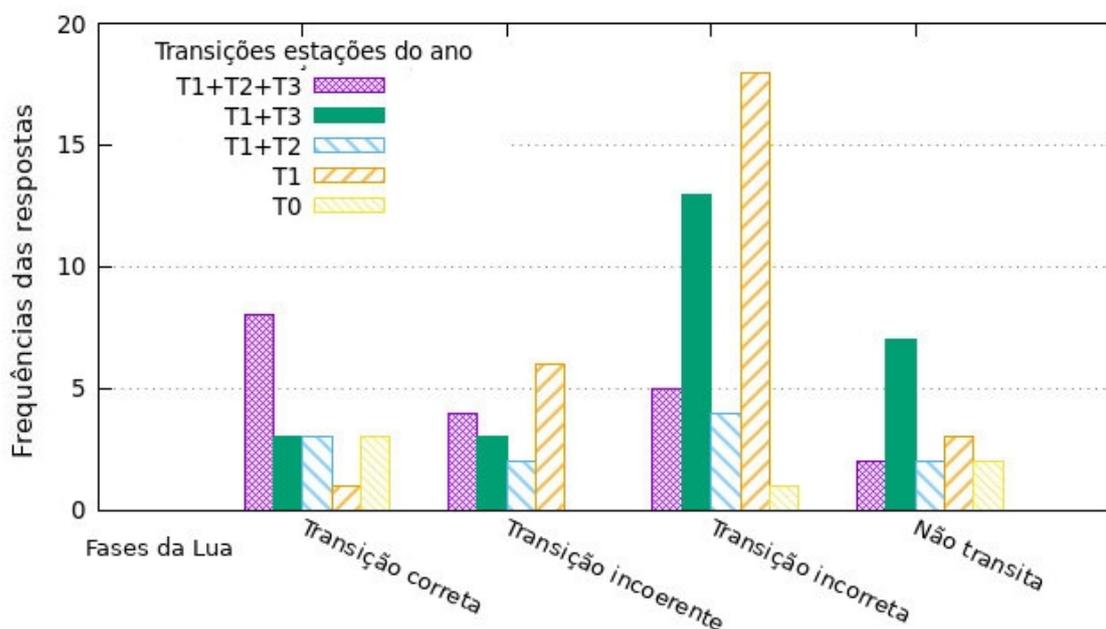
Na próxima seção apresentamos os resultados do teste impresso de 2018-1 no qual analisamos numa mesma etapa avaliativa as explicações atribuídas pelos estudantes para as estações do ano e para as fases lunares.

6.9 ESTAÇÕES DO ANO E FASES DA LUA – PROCEDIMENTO B

No teste impresso complementar do semestre 2018-1 (Apêndice C) propusemos também questões sobre o tema Fases da Lua. As duas questões sobre esse tema que já haviam sido aplicadas no pré-teste e na prova do semestre 2017-1 foram replicadas neste teste complementar de 2018-1. Com isso, foi possível analisar também, neste semestre, se os alunos indicam externalizar respostas coerentes em termos das mudanças de perspectivas consideradas para ambos os fenômenos após a interação com os objetos de visualização propostos na disciplina. Conforme mostramos nos resultados das fases lunares daquele semestre, os estudantes indicam associar os pontos de vista local e global de três maneiras: correta, incoerente e incorreta; além disso, há casos que apresentam apenas um tipo de representação visual (não transitiva).

Dentre os 90 estudantes que compõem a amostra do semestre 2018-1, 19 (21%) indicam fazer todas as três transições (T1+T2+T3) sobre a explicação para as estações do ano consideradas. Deste universo, no entanto, apenas 8 (11%) elaboram e associam corretamente as duas perspectivas essenciais para a visualização das fases lunares conforme ilustra o histograma a seguir (Figura 64). Ele apresenta os resultados para as fases da Lua em função dos resultados obtidos para as estações do ano. As barras representam cada uma das categorias sobre este fenômeno, enquanto que no eixo horizontal cada conjunto de barras representa uma categoria de transição para as fases lunares.

Figura 64 - Combinação de respostas para as estações e para as fases lunares. O histograma é composto por conjuntos de barras no eixo horizontal os quais representam as categorias de transição relacionadas as Fases da Lua e pelas barras que representam individualmente cada um dos indicativos de transição a respeito das estações do ano.



Fonte: Elaborada pelo autor

Essa combinação revela que os estudantes que indicam visualizar corretamente um fenômeno não necessariamente demonstram facilidade em visualizar o outro. Dentre os 19 estudantes que indicam fazer todas as transições associadas a explicação para as estações do ano, há 5 (6%) que apresentam uma transição entre perspectivas para a explicação das fases que foi considerada incorreta, por exemplo.

No caso dos estudantes que explicam as fases de maneira considerada correta, encontramos 3 (3%) que possuem dificuldades com todas as transições assumidas para a visualização das estações do ano (**T0**). O caso mais comum, no entanto, é o dos alunos que transitam incorretamente ao explicar as fases lunares e ao mesmo tempo possuem dificuldades com as T2 e T3 (**T1**) associadas às estações, são 18 (20%) ao todo.

Se somarmos todas as barras sobre a categoria “Transição correta”, encontramos que 18 (20%) estudantes associam corretamente as representações visuais locais e globais para explicar as fases lunares nesta

etapa avaliativa.

Ilustramos a seguir alguns desses casos. Iniciamos com as respostas do aluno 7418 ao teste impresso (Figura 65).

Figura 65 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 7418 no teste impresso complementar (T1 e T2).

1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.

SE DA PELA INCIDÊNCIA DE RAIOS SOLARES EM CADA HEMISFÉRIO AO LONGO DO ANO. ESSA INCIDÊNCIA VARIA POR CAUSA DO MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO E PELO EIXO INCLINADO QUE A TERRA TEM. DESENHO NO VERSO

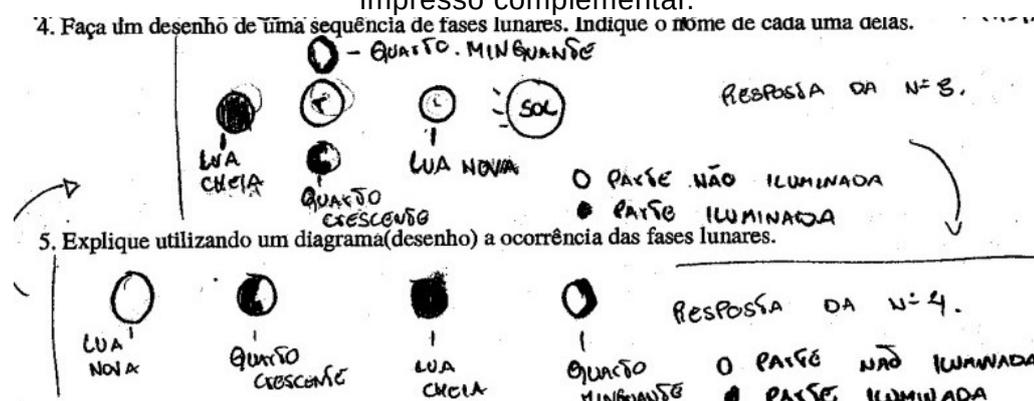
1 - RAIOS SOLARES INCIDINDO DE INÊNDIÇÕES DIFERENTE EM CADA HEMISFÉRIO

2 - RAIOS SOLARES INCIDINDO DE FORMA IGUAL EM CADA HEMISFÉRIO.

Fonte: Teste impresso complementar do aluno 7418.

O aluno 7418 apresenta no teste impresso complementar (Figura 65) um modelo visual considerado correto complementado por explicação verbal que indica que ele faz as T1 e T2 (o eixo inclinado é representado corretamente em todas as quatro posições). Na prova ele indica fazer também corretamente a T3, adotando um modelo visual orbital considerado correto e reconhecendo que a forma da órbita terrestre é pouco excêntrica. No entanto, esse mesmo estudante indica possuir dificuldades de integrar as fases lunares observadas com o seu modelo visual global elaborado para explicá-las no teste impresso complementar (Figura 66).

Figura 66 - Explicação para as fases da Lua apresentada pelo aluno 7418 no teste impresso complementar.

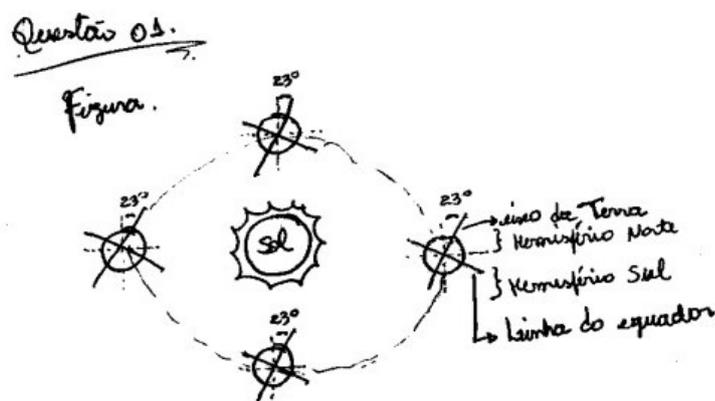


Fonte: Teste impresso complementar do aluno 7418.

Ele apresenta uma sequência correta de fases lunares principais observadas a partir do hemisfério sul, no entanto, o seu modelo global apresenta uma incoerência interna entre os lados iluminados e não iluminados da Lua representados (**Transição incoerente**).

Ilustramos a seguir um exemplo que indica fazer todas as transições assumidas para esses dois fenômenos após a interação com os materiais da Unidade 2.

Figura 67 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 8418 no teste impresso complementar (T1 e T2).



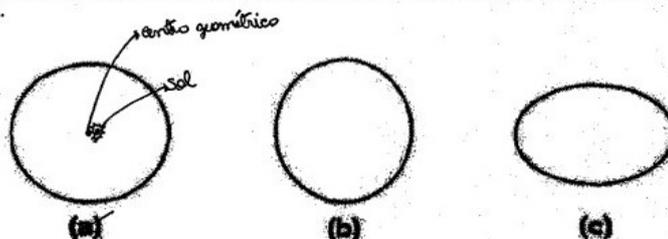
Fonte: Teste impresso complementar do aluno 8418.

O aluno 8418 elabora um diagrama considerado correto sobre a T2 (Figura 67), destacando, inclusive, o ângulo de 23° em relação a um eixo

(imaginário) perpendicular ao plano orbital. Na prova (Figura 68) ele indica fazer a T3 corretamente.

Figura 68 - Explicação para as estações do ano apresentada pelo aluno 8418 na prova (T3 correta).

(a) Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras). Justifique a sua escolha e destaque a localização do Sol na figura escolhida.



A figura "a" é a que melhor representa, pois, de acordo com a 3ª lei de Kepler, os planetas realizam movimentos de translação ao redor do ~~sol~~ sol em órbitas elípticas, no entanto, a excentricidade dessas órbitas é muito baixa, tornando-as quase circulares.

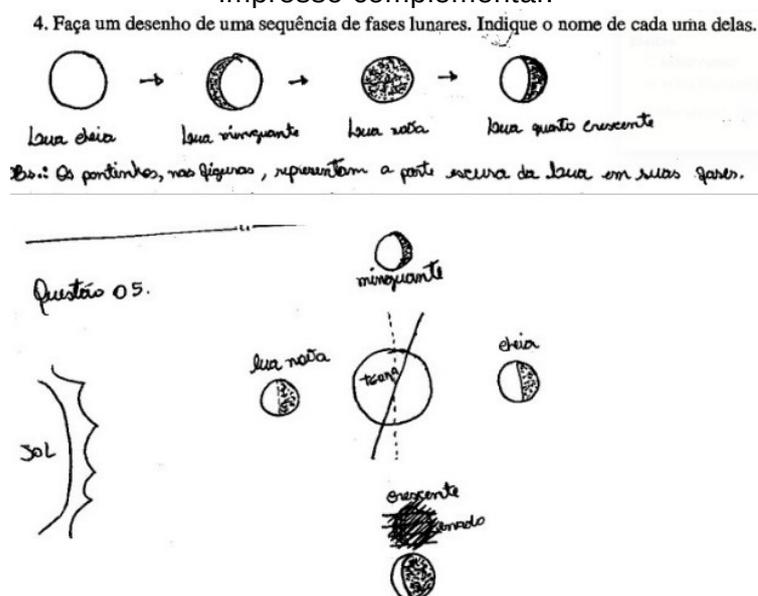
2. Você acredita que a forma (orbital) do movimento da Terra ao redor do Sol (resposta da questão anterior) tem um papel determinante na ocorrência das estações do ano? Justifique.

Não possui papel determinante, porque a variação da distância entre a Terra e o Sol ao longo do ano é muito pequena, não sendo capaz de influenciar na variação de temperatura que conhecemos em nosso planeta \oplus que determina a existência das estações do ano é a combinação da inclinação do eixo de rotação da Terra ($23,5^\circ$) com o movimento de translação da Terra.

Fonte: Prova do aluno 8418.

O mesmo estudante elabora um modelo considerado correto e coerente para explicar as fases lunares no teste impresso complementar que é ilustrado na Figura 69. Ele apresenta uma sequência de fases lunares principais correta e que está em acordo com o modelo visual global elaborado. Um fato curioso é que o estudante desenha inicialmente (na posição lunar correspondente à fase crescente) um equívoco que é muito comum nos casos que consideramos como **Transição incoerente** (lado considerado não iluminado voltado pro Sol). Ele, então, risca e desenha corretamente abaixo a Lua com o lado iluminado voltado para o Sol como é considerado num caso de **Transição correta**.

Figura 69 - Explicação para as fases da Lua apresentada pelo aluno 8418 no teste impresso complementar.



Fonte: Teste impresso complementar do aluno 8418.

Identificamos neste grupo (2018-1) outro estudante que também reproduz essa mesma correção no desenho. Isso pode ser entendido como um indicativo da relevância da externalização de um objeto de visualização para a conceitualização/visualização interpretativa (VAVRA et al, 2011; MNGUNI, 2014) desse fenômeno.

Neste capítulo apresentamos todos os resultados da pesquisa, os quais estão diretamente associados ao desempenho dos estudantes nos instrumentos avaliativos do ambiente educacional onde os objetos de visualização destacados no Capítulo 4 são utilizados. No próximo capítulo apresentamos uma discussão final e as conclusões deste trabalho.

7 CONCLUSÃO

A visualização desenvolve um papel importante para o ensino das ciências; é comum elaborarmos modelos visuais ou objetos de visualização como meios para auxiliar os alunos na interpretação dos modelos científicos. No que se refere ao ensino da Astronomia, revelam-se bastante eficazes, visto que a aprendizagem desses fenômenos exige por si só uma habilidade de estabelecer relações entre distintos pontos de vista. Nesse sentido, o uso desses objetos é fundamental para dar suporte à aprendizagem dos fenômenos mais básicos como as fases da lua, os eclipses, as estações do ano, entre outros.

Esta pesquisa foi realizada numa disciplina componente da grade curricular do Curso de Ciências Matemáticas e da Terra da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A disciplina é obrigatória e responsável pelo primeiro contato dos alunos recém ingressantes na universidade com o estudo da Física; é oferecida no formato semipresencial e composta por três unidades; uma das quais é sobre o estudo de fenômenos astronômicos básicos sendo que objetos de visualização são utilizados num ambiente virtual de aprendizagem de maneira autônoma pelos estudantes.

Esse ambiente educacional possui um amplo armazenamento de dados sobre as avaliações aplicadas ao longo dos anos, os quais foram disponibilizados para a realização desta pesquisa. No total foram analisados os dados/respostas de mais de 1200 alunos.

A investigação que propomos sobre o uso de recursos visuais nesse ambiente educacional é baseada numa discussão a respeito do papel da visualização no Ensino de Ciências que tem como fundamento a Psicologia Cognitiva. Utilizamos também como referência pesquisas no campo da Educação em Astronomia, destacando-se, por exemplo, as concepções prévias acerca dos fenômenos astronômicos básicos já levantadas na literatura.

A discussão sobre a visualização no Ensino de Ciências fornece dois pilares para a investigação:

- Uma compreensão teórica sobre o processo de visualização. Ou seja, os recursos visuais propostos constituem-se como objetos de visualização que se propõem a auxiliar os estudantes na construção de imagens mentais e na

visualização interpretativa dos fenômenos astronômicos. Do mesmo modo, os estudantes externalizam diagramas/representações verbais ao realizarem as atividades avaliativas propostas na disciplina (GILBERT, 2008, 2010; VAVRA et al, 2011; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; MNGUNI, 2014).

- Algumas pesquisas recentes têm destacado a relevância de fornecer suporte à visualização dos fenômenos científicos em geral (sobretudo, na área de Química) levando em consideração três níveis ou tipos de representação visual chamados de submicro, macro e simbólico (GILBERT, 2008; 2010; CHANG RUNDGREN e YAO, 2014; MNGUNI, 2014). Entendemos que é relevante trazer essa discussão de modo mais específico para o contexto do ensino de Astronomia, uma vez que a visualização é fundamental para o estudo dessa área do conhecimento e muitas pesquisas destacam os problemas de ensino e de aprendizagem associando-os a dificuldades de mudança de perspectiva (CANALLE, 2003; KRINER, 2004; DIAS e PIASSI, 2007; AGUIAR, BARONI e FARINA, 2009; PINTO, VIANA e FONSECA, 2007; GOMIDE e LONGHINI, 2017).

Nesse sentido, destacamos alguns tipos de representação visual que se referem a distintos pontos de vista essenciais para a visualização interpretativa dos fenômenos astronômicos avaliados no âmbito desta pesquisa.

A investigação proposta é focada na análise da capacidade dos estudantes em elaborar essas representações e de associar, ou não, essas distintas perspectivas. Os indicativos encontrados sobre essas transições levam-nos a inferir sobre a visualização dos estudantes no decorrer dos estudos com os objetos de visualização propostos.

Os recursos didáticos utilizados na U2 da disciplina promovem a observação de todos esses pontos de vista destacados. Os vídeos promovem, por exemplo, diversas mudanças de perspectiva simulando uma viagem real pelo Sistema Solar, enquanto que algumas informações relevantes mais específicas e conceituais são complementadas nos textos. As aulas virtuais possibilitam um auxílio mais orientado sobre os fenômenos através da apresentação de modelos visuais que contemplam essas mudanças de ponto de vista mencionadas.

O desenho metodológico do presente trabalho envolveu dois procedimentos, A e B.

O Procedimento A corresponde aos 8 semestres consecutivos compreendidos entre os anos de 2013 e 2016, nesse período avaliamos os dados disponíveis provenientes do desempenho dos estudantes nos instrumentos de avaliação da disciplina.

O Procedimento B que iniciou no primeiro semestre de 2017 foi decorrente dos resultados encontrados no período anterior. O mesmo é caracterizado pelas nossas proposições de questões e de etapas avaliativas complementares com enfoques semestrais que possibilitaram uma análise mais aprofundada de algumas das questões da pesquisa.

No caso dos temas Rotação Síncrona e Fases da Lua foi possível fazer essa análise antes e após os estudos na U2, o que nos possibilitou investigar se alguma concepção prévia e/ou dificuldade de visualização específica se mostra mais resistente à proposta da disciplina. Além disso, a combinação dessas etapas avaliativas possibilitou a avaliação dos efeitos de aprendizagem propiciados pela interação com os objetos de visualização propostos.

A avaliação do tema Estações do Ano foi limitada em termos de comparação entre etapas avaliativas, mas procuramos um aprofundamento maior na análise dos tipos de representação visual assumidos e das correspondências entre eles.

De forma geral, os resultados apontam que a proposta da U2 auxilia diversos estudantes que inicialmente apresentavam dificuldades em visualizar as explicações sobre os movimentos e fases lunares, bem como, as estações do ano. Os mesmos indicam se apropriar (internalização) das informações apresentadas nos objetos de visualização/modelos visuais e se envolver num processo cognitivo ativo de interpretação (visualização) das mesmas.

Conforme destaca Mnguni (2014) todos esses processos, incluindo as representações visuais elaborados pelos estudantes (externalização) nas avaliações, fazem parte de três estágios não lineares envolvidos no processo de visualização.

Quanto aos resultados mais específicos, alunos que inicialmente apresentavam distintas concepções prévias acerca dos movimentos lunares,

passam a apresentar justificativas consideradas corretas. Estes indicam transitar para uma perspectiva global onde é possível observar que os movimentos de rotação e de translação da Lua possuem o mesmo período. Esse resultado foi identificado nos Procedimentos A e B.

No caso das fases lunares (Procedimento B), identificamos um aumento de explicações corretas nas perspectivas locais e globais do pré-teste para a prova, bem como, um aumento dos que indicam transitar entre essas duas perspectivas e integrá-las corretamente. Verificamos ainda que após os estudos com os materiais, a maioria dos estudantes, indica compreender melhor a explicação (de um terceiro ponto de vista) para a não ocorrência de eclipses solares e lunares todos os meses.

Quanto ao tema Estações do Ano, identificamos que cerca de 21% dos estudantes indicam transitar entre os três tipos de representação visual considerados, reproduzindo uma explicação coerente para o fenômeno após o final do curso.

Além dos resultados de aprendizagem considerados positivos, nos quais os alunos passam a externalizar explicações coerentes em termos das mudanças de ponto de vista consideradas, encontramos também muitos casos que foram considerados como efeito neutro. Esse efeito foi ilustrado na análise dos temas Rotação Síncrona e Fases da Lua e indica pelo menos duas situações: 1- casos que denominamos propriamente como efeito neutro e marcamos com (=) na comparação entre as etapas avaliativas, nos quais não identificamos mudanças nas respostas dos estudantes; 2- casos que mudam de resposta, mas ainda sem transitar corretamente entre as perspectivas consideradas. Estes não foram classificados em nenhum efeito.

Ambos precisam ser diferenciados com mais cuidado, neste último, a mudança, mesmo que ainda incorreta em termos da visualização dos fenômenos, indica que os estudantes se envolvem num processo cognitivo ativo de internalização (proposta pelos objetos) e visualização (interpretação) do fenômeno (GILBERT, 2008; 2010; VAVRA et al, 2011; MNGUNI, 2014). No primeiro caso, não temos como inferir se os estudantes se envolvem nesse processo, pois não há mudanças significativas nos argumentos e/ou nas representações visuais externalizados por eles de uma etapa avaliativa para a outra.

Esta abordagem avaliativa do uso de materiais didáticos focada na investigação da visualização dos estudantes, permitiu-nos encontrar resultados específicos associados às dificuldades de aprendizagem para cada assunto. Entendemos que esses são os resultados mais pertinentes e que possibilitam maiores reflexões, uma vez que, algumas dificuldades se mostram bastante resistentes à mudança.

No caso da Rotação Síncrona da Lua, por exemplo, notamos que é importante um cuidado maior com a explicação inicial que associa a visualização da mesma face lunar com o movimento de rotação da Terra (DRT). São muitos os casos que permanecem utilizando esse tipo de resposta ou que já possuíam outras dificuldades (apresentando outras concepções prévias) de visualização e passam a utilizá-la após os estudos com os recursos visuais propostos. Do ponto de vista da Teoria da Carga Cognitiva (TCC), a apresentação do movimento de rotação terrestre (entendida inicialmente como irrelevante) passa a ser relevante para esses estudantes, visto que o associam à explicação daquilo que observam. Ou seja, possuem um esquema sobre o assunto armazenado na memória de longo prazo no qual o movimento de rotação terrestre se faz presente. Logo, necessitam de um suporte visual que contemple também esse movimento, mesmo que isso acarrete maior complexidade para a observação dos movimento lunares de uma perspectiva global (o que em si é difícil).

Quanto às fases lunares, o que chama a atenção, é o caso dos estudantes que indicam integrar de maneira incoerente (**Transição incoerente**) as perspectivas local e global. Esses estudantes demonstram ter uma compreensão pertinente da geometria associada à explicação das fases lunares, mas elaboram diagramas globais que são considerados incoerentes devido à representação equivocada dos lados iluminados e não iluminados da Lua quando ela, o Sol e a Terra não estão alinhados (fases crescente e/ou minguante). Essa fragmentação das representações visuais locais e globais dos estudantes sobre o fenômeno pode ser entendida como uma dificuldade de visualização resistente à mudança, pois foram identificados casos antes e após o curso.

Encontramos ainda, algumas dificuldades que persistem na explicação atribuída pelos estudantes sobre as estações do ano no teste complementar e na

prova do segundo semestre de 2018 (2018-1). É recorrente a dificuldade de alguns alunos de fazer a chamada Transição 2, que se refere à visualização do eixo de rotação terrestre inclinado (em relação ao plano orbital), em distintas posições ao longo do ano. Muitos estudantes, por exemplo, apresentam a ideia da “Terra cambaleante” (PARKER e HEYWOOD, 1998; SABOTA e SOBREIRA, 2011) indicando que o eixo de rotação terrestre muda de orientação ao longo do ano.

Deparamo-nos também com situações de dificuldades na chamada Transição 3, referente ao reconhecimento dos efeitos causados na Terra pelo formato orbital da mesma. Em alguns casos, os estudantes, adotam um modelo orbital exageradamente excêntrico para explicar que as estações do ano são causadas pela variação da distância Terra-Sol (CANALLE, 2003; SOBREIRA; 2010) ou adotam o mesmo modelo sem associá-lo à sua explicação para o fenômeno. Em ambas as situações há fortes indicativos de uma fragmentação entre as representações visuais associadas a essa referida transição.

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC) traz explicações plausíveis para esses resultados, pois a alta interatividade elementar causada pelas diversas informações que precisam ser processadas simultaneamente impõem cargas cognitivas intrínsecas ao processo de aprendizagem. As mesmas são criadas pelo próprio conteúdo de Astronomia que exige mudanças de ponto de vista para que os fenômenos sejam interpretados (visualizados), muitas vezes, diversas informações e/ou fenômenos se sobrepõem, o que dificulta a concentração da atenção em todos, visto que a capacidade de processamento da memória de trabalho é considerada limitada (CHANDLER e SWELLER, 1991; MAYER, 2005; SWELLER, 2008).

Identificamos, por exemplo, uma confusão dos estudantes na visualização dos movimentos de rotação e de translação da Lua e na explicação que os mesmos dão para as fases lunares. É comum alguns alunos associarem a fase lunar ao movimento de rotação dela, assumindo que a fase é explicada pela mudança da sua face voltada para a Terra. Tal confusão pode ser entendida pela sobreposição desses fenômenos.

Outro resultado pertinente e que ilustra essas dificuldades intrínsecas de visualização em Astronomia foi encontrado no teste complementar aplicado em 2018-1. Neste semestre conseguimos avaliar com mais cuidado se os alunos

possuem dificuldades de visualização das fases lunares e das estações do ano de forma simultânea. Encontramos vários casos, por exemplo, que indicam fazer todas as transições assumidas para a visualização das estações do ano, mas que possuem dificuldades de transitar e integrar corretamente as perspectivas essenciais para a visualização das fases lunares. Do mesmo modo, há estudantes que indicam visualizar corretamente as fases lunares e ao mesmo tempo possuem pouco conhecimento acerca das explicações para as estações do ano.

Mais que uma discussão, torna-se pertinente considerar aspectos da visualização para os processos de ensino e de aprendizagem deste campo do conhecimento. Entendemos que os resultados e os indicativos de dificuldades com mudança de perspectiva que apresentamos neste trabalho podem se constituir como possíveis pontos de partida para investigações mais aprofundadas a respeito dessa relação entre a visualização e a aprendizagem em Astronomia.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.E.; BARONI, D.; FARINA, C. A órbita da Lua vista do Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.31, n.4, p. 4301-4306, 2009.

ALMEIDA, G. Um método simples e intuitivo para determinar a excentricidade da órbita da Terra. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 30, n. 1, p. 165-176, 2013.

BABBIE, E. **Métodos de Pesquisa de Survey**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2003. Disponível em: http://www.fsc.ufsc.br/~tati/ppgect/Metodos%20de%20Pesquisa%20de%20Survey_BABBIE2003.pdf

BARRIER, R. M. Astronomical misconceptions. **The Physics Teacher**. v.48, p.319-321, 2010.

BARROSO, M. F.; BORGIO, I. Jornada no Sistema Solar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.32, n. 2, 2010.

BODEMER D. et al. The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualizations. **Learning and Instruction**. v. 14, n.3, p. 325–341. 2004.

CAMINO, N. Ideas previas y cambio conceptual en Astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la luna. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 1, p.81-96, 1995.

CANALLE, J.B.G.; TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B.; 1997. Análise do conteúdo de Astronomia de livros de geografia de 1o grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p.254-263, 1997.

CANALLE, J.B.G. O Problema do Ensino da Órbita da Terra. **Revista Física na Escola**. V. 4, n.2, p. 12-16, 2003.

CHANDLER, P.; SWELLER, J. Cognitive load theory and the format of instruction. **Cognition and Instruction**. v. 8, n. 4, p. 293-332. 1991.

CHANG RUNDGREN, S-N.; YAO, B-J. Visualization in research and science teachers' professional development. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**. v. 15, n. 2, 2014.

CLARK, J. M; PAIVIO, A. Dual coding theory and education. **Educational Psychology Review**. v. 3, n. 3, p. 149–210, 1991.

DIAS, W. S.; PIASSI, L. P. Por que a variação da distância terra-sol não explica as estações do ano? **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.29, n. 3, p.235, 2007.

ENGESTRÖM, Y. Non Scoale sed vitae discimus: Towards overcoming the encapsulation of school. **Learning and Instruction**, n. 1, p. 243–259, 1991.

FAGUNDES, A. L. **Avaliação de uma hipermídia educacional sobre as fases da Lua**. Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 2014. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica), 2014. Disponível em: <http://tede.ufsc.br/teses/PECT0215-D.pdf>

FAGUNDES, A. L.; SILVA, T.; BARROSO, M. F. Aprendizagem mediada por uma hipermídia educacional. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 20, p. 91-114, 2015.

FAGUNDES, A. L.; SILVA, T.; BARROSO, M. F (no prelo). Visualização e uma avaliação das concepções prévias de alunos do ensino superior sobre as estações do ano. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**

FILATRO, A. **Design instrucional contextualizado: educação e tecnologia**. São Paulo: Editora Senac, 2003. 216p.

GILBERT, J. K. **Visualization: an emergent field of practice and enquiry in Science Education**. In J. K. Gilbert, M. Reiner, M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Springer, 2008, p. 3-24.

_____. The role of visual representations in the learning and teaching of science: an introduction. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**. v. 11, p.1-19, 2010.

GILBERT, J. K.; ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 2, p.107-120, 1985.

GIOVANNINI, O.; PELLEZZI, D.; CATELLI, F. O lado escuro da lua nunca apanha sol? **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 17, p. 91-106, 2014.

GOMIDE, H. A.; LONGHINI, M. D. Modelos Mentais de estudantes dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental sobre o Dia e a Noite: Um estudo sob diferentes referenciais. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 24, p. 45-68, 2017.

HEGARTY, M. Dynamic visualizations and learning: getting to the difficult questions. **Learning and Instruction**. v. 14, p. 343-351. 2004.

HEIDRICH, D. N. **Construção e avaliação de hipermídia educacional sobre tópicos de carboidratos**. 2009. 269 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Centro de Ciências da Educação, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

HESSEN, J. **Teoria do Conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

HÖFFLER, T. N.; SCHWARTZ, R. N.: Effects of pacing and cognitive style across dynamic and non-dynamic representations. **Computers and Education**. v. 57, n. 2, p. 1716–1726. 2011.

IACHEL, G.; LANGHI, R.; SCALVI, R. M. F. Concepções alternativas de alunos do ensino médio sobre o fenômeno de formação das fases da lua. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 5, p. 25-37, 2008

KANLI, U. Using a Two-tier Test to Analyse Students' and Teachers' Alternative Concepts in Astronomy. **Science Education International**, v. 26, p. 148-165, 2015.

KRINER, A. Las Fases da Lua, ¿Cómo y cuándo enseñarlas? **Ciência & Educação**. v. 10, n. 1, p. 111-120. 2004.

KRIZ, S.; HEGARTY, M. Top-down and bottom-up influences on learning from animations. **International Journal of Human-Computer Studies**, v.65, p. 911–930, 2007.

LANGHI, R. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 2, p.373-399, 2011.

LANGHI, R.; NARDI, R. **Educação em Astronomia**: repensando a formação de professores. São Paulo: Escrituras Editora, 2012.

LELLIOT, A.; ROLLNICK, M. Big Ideas: A Review of Astronomy Education Research 1974-2008. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 13, p.1771-1799, 2010.

MACHADO, D.I; NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 16, n. 1, p.90-116. 2007.

MACHADO, D. I.; SANTOS, P. L.V. A. C. Avaliação da hipermídia no processo de ensino e aprendizagem da Física: O caso da Gravitação. **Ciência & Educação**. v. 10, n.1, p. 75-100. 2004.

MAYER, R. E. In: The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. **Cognitive Theory Of Multimedia Learning**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 31-48.

MEDEIROS, A. MEDEIROS, C. Questões epistemológicas nas iconicidades de representações visuais em livros didáticos de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências**.v. 1, n. 1, p. 103-117, 2001.

MNGUNI, L. E. The theoretical cognitive process of visualization for science education, **SpringerPlus**. V. 3, n.1, p.1-9, 2014.

MÜNZER, S.; SEUFERT, T.; BRÜNKEN, R. Learning from multimedia presentations: Facilitation function of animations and spatial abilities. **Learning and Individual Differences**. v. 19, p. 481-485. 2009.

NEUFELD, C. B.; BRUST, P. G.; STEIN, L. M. Bases Epistemológicas da Psicologia Cognitiva Experimental. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**. v. 27, n. 1, p. 103-112, 2011.

OLIVEIRA FILHO, K. S., SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 557p.

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

PIETROCOLA, M.; ZYLBERSZTAJN, A. The use of the principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduated physics students. **International Journal of Science Education**, Grã-bretanha, v. 21, n. 3, p.261-279, 1999.

PINTO, S. P.; FONSECA, O. M.; da VIANNA, D. M. Formação continuada de professores: Estratégia para o ensino de Astronomia nas séries iniciais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 24, p. 71-86, 2007.

READ, J. R. Children's Misconceptions and Conceptual Change in Science Education. 2004. Disponível em: <http://acell.chem.usyd.edu.au/Conceptual-Change.cfm>

REZENDE, F. Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema Hipermedia para Facilitar a Reestruturação Conceitual em Mecânica Básica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 197-213. 2001.

SABOTA, H. S; SOBREIRA, P. H. A. Modelos mentais, concepções espontâneas e alternativas de discentes e docentes sobre estações do ano. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA,1., 2011, Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos...São Paulo: Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), 2012. Disponível em: <<http://www.sab-astro.org.br/sneal/atas>>

SANZOVO, D. T. **Níveis Interpretantes alcançados por estudantes de licenciatura em ciências biológicas acerca das Estações do Ano por meio da utilização da estratégia de Diversidade Representacional: uma Leitura Peirceana para sala de aula**. 2017. 192 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

SCARINCI, A. L.; PACCA, J. L. A. Um curso de astronomia e as pré -concepções dos alunos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p.89 – 99, 2006.

SCHEITER, K. et al. The effects of realism in learning with dynamic visualizations. **Learning and Instruction**, v.19, n.6, p. 481-494, 2009.

SILVA, C. M. T.; ELLIOT, L.G. Avaliação de software educacional hipermídia: a contribuição de especialistas e usuários. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**. v. 5, n. 16, p. 299-312. 1997.

_____. Avaliação da hipermídia para uso em educação: uma abordagem alternativa. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**. v. 78, n.188/189/190, p. 262-284. 1998.

SILVA, T. Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.29, p.864-890, 2012.

SILVA, T.; BARROSO, M. F. Fenômenos astronômicos e ensino a distância: produção e avaliação de materiais didáticos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI, 2008, Curitiba. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Curitiba, 2008.

SOBREIRA, P. H. A. Estações do Ano: concepções espontâneas, alternativas, modelos mentais e o problema da representação em livros didáticos de Geografia. In: LONGHINI, M. D. (Org.). **Educação em Astronomia: experiências e contribuições para a prática pedagógica**. Campinas: Editora Átomo, 2010, p.37-58.

SWELLER, J. Visualisation and instructional design. In: R. PIOETZNER (Ed.), INTERNATIONAL WORKSHOP ON DYNAMIC VISUALIZATIONS AND LEARNING. Tübingen, Germany: Knowledge Media Research Center. 2002.

_____. In: Handbook of research on educational communications and technology. **Human Cognitive Architecture**. 3rd ed. New York: Routledge. 2008.

SWELLER, J. et al. **Cognitive load theory**. New York: Springer, 2011. 274 p.

SUH, J. M.; MOYER-PACKENHAM, P. S. The application of dual coding theory in multi-representational viral mathematics environment. In: J. H. WOO, H. C. LEW, K. S. PARK, & D. Y. SEO (Eds.). Proceedings of the 31st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, v.4 , p. 209-216. Seoul, Korea: PME. 2007.

TREVISAN SANZOVO, D.; LABURÚ, C. E. Níveis Interpretantes apresentados por alunos de ensino superior sobre as Estações do Ano. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 22, p.35-58, 2016.

TRUMPER R. A Cross-Age Study of Junior High School Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 11, p.1111-1123, 2001.

TÜRKMEN, H. After Almost Half-Century Landing On The Moon And Still Countering Basic Astronomy Conceptions. **European Journal of Physics Education**, v.6, 2015.

VARELA-LOSADA, M. M. et al. Spanish pre-service teachers' alternative conceptions about Astronomy. **Ciência & Educação**, v. 21, n. 4, p.799-816, 2015.

VIENNOT, L. Learning and conceptual understanding: Beyond simplistic ideas, what have we learned? In: E. Sassi & M. Vicentini (Eds.), Physics education: Recent developments in the interaction between research and teaching (seção B1), ICPE. 2009. Disponível em: <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/index.html>

VAVRA, K. L. et al. Visualization in science education. **Alberta Science Education Journal**. v. 41, n. 1, p. 22-30. 2011.

WILEY, D. A. **Learning object design and sequencing theory**. 2000. 131 f. PhD Thesis (Doctor of Philosophy). Department of Instructional Psychology and Technology. Brigham Young University. 2000.

ZEILIK, M.; SCHAU, C.; MATTERN, N. Misconceptions and their change in university-level astronomy courses. **The Physics Teacher**, Melville, v. 36, p. 104-107, 1998.

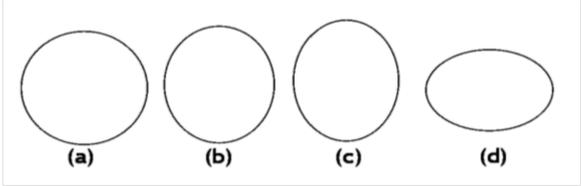
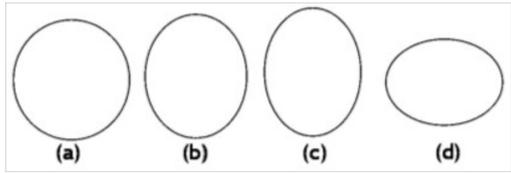
APÊNDICE A – Reformulação do AVA e questões inseridas nos instrumentos de avaliação da disciplina INTIFIS-A (Procedimento B)

No primeiro semestre de 2017, solicitamos à professora coordenadora da disciplina, a reformulação do pré-teste. Nessa reformulação reorganizamos algumas questões já existentes e incluímos novas questões com o objetivo de entender melhor os conhecimentos prévios dos alunos acerca dos temas estudados na disciplina. Também foram feitas modificações no questionário 2-2 (on-line) e no teste impresso.

Todas as modificações/inclusões de questões estão baseadas nos resultados encontrados após o olhar que lançamos para os instrumentos de avaliação da disciplina durante o Procedimento A. Essas proposições foram feitas para coletarmos dados mais específicos e alinhados com as nossas questões de pesquisa. As modificações complementares e exclusivas (por enfoque semestral) foram descritas no Capítulo 5.

Nos quadros a seguir apresentamos as modificações feitas em cada instrumento de avaliação. O primeiro deles, o Quadro 21 ilustra as alterações no pré-teste. Na coluna da esquerda apresentamos quais eram as questões durante o período correspondente ao Procedimento A e na coluna da direita as modificações a partir de 2017.

Quadro 21 – Modificações no pré-teste.

Pré-teste	
Procedimento A	Procedimento B
<p>Q3. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> 	<p>Q3. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p> 
<p>Q4. E, na figura escolhida por você na questão anterior, onde fica o Sol?</p>	
<p>Q8/Q5. Qual é a principal razão para que os dias sejam mais longos no verão do que no inverno? Marque entre as opções abaixo:</p> <p>(a) A órbita da Terra não é uma circunferência. (b) O eixo de rotação da Terra é inclinado. (c) No verão, a Terra está mais próxima do Sol. (d) Fenômenos atmosféricos</p>	
<p>Não havia</p>	<p>Q6. O caminho aparente que o Sol percorre no céu desde o momento que nasce sobre o horizonte até o ocaso (pôr do Sol) é sempre o mesmo todos os dias do ano? Explique a sua resposta.</p>
<p>Q9/Q7. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano?</p>	

Fonte: Pré-teste da U2.

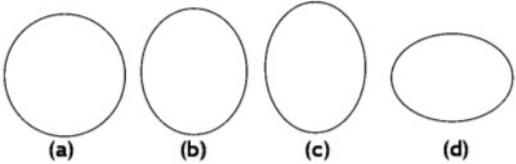
Todas as questões existentes no pré-teste sobre o tema foram mantidas. Houve apenas uma inversão na Q3: a alternativa correta era a opção “b” (coluna da esquerda) e passou a ser a opção “a” (coluna da direita) a partir de 2017. As opções de resposta da Q3 também não se mantiveram a mesma de modo que mudamos a descrição que vinha sendo utilizada no Procedimento A. Com isso, a descrição de todas as figuras (opções de resposta) da Q3 a partir de 2017 passaram a ser: “a- pouco excêntrica”, “b- excêntrica vertical”, “c- muito excêntrica vertical” e “d – muito excêntrica”.

Além disso, uma nova questão (“O caminho aparente que o Sol percorre no céu desde o momento que nasce sobre o horizonte até o ocaso (pôr do Sol) é

sempre o mesmo todos os dias do ano? Explique a sua resposta.”) foi incluída inicialmente para analisarmos melhor se os alunos conseguem fazer a Transição 1 e se utilizam os mesmos argumentos apresentados na questão *“Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano?”*. No entanto, os resultados mostraram que os estudantes não compreenderam bem o enunciado, por isso ela foi retirada da análise apresentada nos Capítulos 5 e 6.

A partir de 2017 também foram incluídas duas novas questões sobre o assunto no pós-teste online aplicado depois das leituras do Texto 1 e do Texto Complementar. O Quadro 22 apresenta as modificações que foram feitas nesse instrumento.

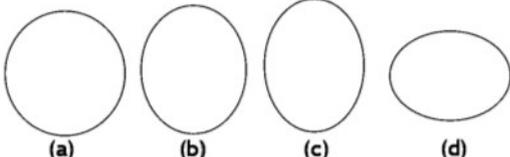
Quadro 22 – Modificações no teste online pós leituras

Pós-teste leituras (questionário 2-2 on-line)	
Procedimento A	Procedimento B
Não havia	<p>Q14. <i>Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</i></p>  <p>(a) (b) (c) (d)</p>
Não havia	Q15. Justifique sua escolha na questão anterior.
Q14/Q16. É uma aproximação ruim supor que as órbitas que descrevem os movimentos da Terra e de Marte são órbitas circulares?	

Fonte: Pós-teste leituras (questionário on-line) da U2.

Foram repetidas ainda duas questões no teste impresso aplicado logo após o fim dos estudos da Unidade 2 conforme apresentamos no Quadro 23.

Quadro 23 – Modificações no teste

Teste impresso	
Procedimento A	Procedimento B
Não havia	<p>Q6. Qual é a principal razão para que os dias sejam mais longos no verão do que no inverno? Marque entre as opções abaixo:</p> <p>(a) A órbita da Terra não é uma circunferência. (b) O eixo de rotação da Terra é inclinado. (c) No verão, a Terra está mais próxima do Sol. (d) Fenômenos atmosféricos</p>
Não havia	<p>Q11. Qual das figuras a seguir você acha que representa melhor o movimento da Terra ao redor do Sol? (Não existe nenhum efeito de perspectiva nessas figuras.)</p>  <p style="text-align: center;">(a) (b) (c) (d)</p>

Fonte: Teste impresso da U2.

Essa repetição foi utilizada para compararmos o desempenho dos alunos com os resultados encontrados no pré-teste.

APÊNDICE B – Pré-teste complementar impresso 2017-1 (Procedimento B)**Introdução à Física A**

Responda às questões a seguir e entregue a folha de respostas ao seu professor.

Nome: _____

Turma: _____

1. Explique, utilizando um diagrama, a ocorrência das fases lunares.
2. Faça um desenho de uma sequência de fases lunares. Indique o nome de cada uma delas.
3. “A Lua gira em torno de seu eixo de forma tal que apresenta sempre a mesma face voltada para a Terra.” Utilize um diagrama para explicar esta afirmação.
4. Se um observador no hemisfério sul vê a Lua na fase Crescente,
 - a) qual a aparência da Lua para um observador no hemisfério Norte? Responda utilizando um desenho.
 - b) qual a aparência da Lua para um observador no hemisfério Sul? Responda utilizando um desenho.
5. Explique, utilizando um diagrama, a ocorrência de eclipses.

APÊNDICE C – Teste impresso complementar 2018-1 (Procedimento B)**Introdução à Física A**

Responda às questões a seguir e entregue a folha de respostas ao seu professor.

Nome: _____

Turma: _____

1. Qual a explicação que você daria para a existência das estações do ano? Utilize um diagrama (desenho) para complementar a sua justificativa.
2. O caminho aparente que o Sol percorre no céu desde o momento que nasce sobre o horizonte até o ocaso (pôr do Sol) é sempre o mesmo todos os dias do ano? Explique a sua resposta.
3. “No mês de dezembro é verão em qualquer ponto sobre a superfície da Terra”. Você concorda com essa afirmação? Justifique.
4. Faça um desenho de uma sequência de fases lunares. Indique o nome de cada uma delas.
5. Explique utilizando um diagrama(desenho) a ocorrência das fases lunares.
6. Desenhe como um observador vê a lua na fase Crescente:
 - (a) no hemisfério norte
 - (b) no hemisfério sul
 - (c) próximo a linha do Equador

ANEXO A – Texto 1

UNIDADE 2 – MOVIMENTOS NO SISTEMA SOLAR

Texto 1 – Notas de aula (M. F. Barroso)

O Sistema Solar

A observação do mundo ao nosso redor constitui uma das atividades mais antigas da humanidade. Os movimentos do Sol e da Lua, os dois astros mais importantes para o ser humano, são acompanhados desde sempre, pois eles trazem efeitos importantes sobre a vida na Terra. O dia e a noite, as estações, os aspectos diferentes da Lua durante um mês, as marés, a posição das estrelas, os eclipses, todos estes fenômenos desempenharam papéis muito importantes – para plantar, para se orientar nos mares, para viver de uma maneira geral.

No céu não se vê apenas o Sol e a Lua. Há infinitos pontos luminosos, com diferentes características, agrupando-se de forma diferenciada (e, usando a imaginação, assumindo formas de diferentes animais e figuras mitológicas).

Há objetos nos céus que são “errantes” – cujo movimento aparente é diferente, muito “maior” do que o de outros, que estão se movendo de uma forma mais lenta, ao longo dos dias, dos meses e dos anos. Esses objetos foram denominados “planetas” – há cinco planetas visíveis a olho nu, e que são registrados desde a mais remota antiguidade: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

Os desenvolvimentos dos estudos permitiram a compreensão de que nos céus há estrelas e planetas. As estrelas agrupam-se formando galáxias, que se agrupam formando conglomerados, que se agrupam... E em torno de nossa estrela, o Sol, uma estrela menor da Via Láctea, há (pela nova definição dos astrônomos) oito planetas, observados com auxílio de lunetas, telescópios, sondas e satélites espaciais.

O Sistema Solar, então, é composto pela estrela (Sol, uma estrela normal, uma enorme bola de gás incandescente com 1,4 milhões de quilômetros de diâmetro e temperatura superficial de cerca de 6000 K) e muitos outros objetos menores: os

planetas, seus satélites e anéis, e outros corpúsculos, como os asteróides, os cometas e a poeira interplanetária.



O Sol⁴.

Na Tabela 1, indicamos a parcela da massa do Sistema Solar que corresponde a cada um dos principais corpos ⁵

Tabela 1

Objeto	% da massa total do Sistema Solar
Sol	99,80
Júpiter	0,10
Cometas	0,05
Todos os demais planetas	0,04
Satélites e anéis	0,00005
Asteróides	0,000002
Poeira cósmica	0,0000001

UNIDADE 2 – 1 INTRODUÇÃO À FÍSICA A – CMT

Os planetas do Sistema Solar são: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno (Plutão teve seu status de planeta questionado: foi “rebaixado” para a categoria de “planeta anão”). Eles giram em torno do Sol numa única direção, em órbitas quase circulares (elípticas) e aproximadamente coplanares (exceções: Mercúrio e Plutão, com órbitas um pouco excêntricas e inclinadas). Cada planeta também gira em torno de um eixo que o atravessa e a direção desta rotação é a mesma de seu movimento de translação em torno do Sol (exceto Vênus, que faz uma rotação retrógrada).

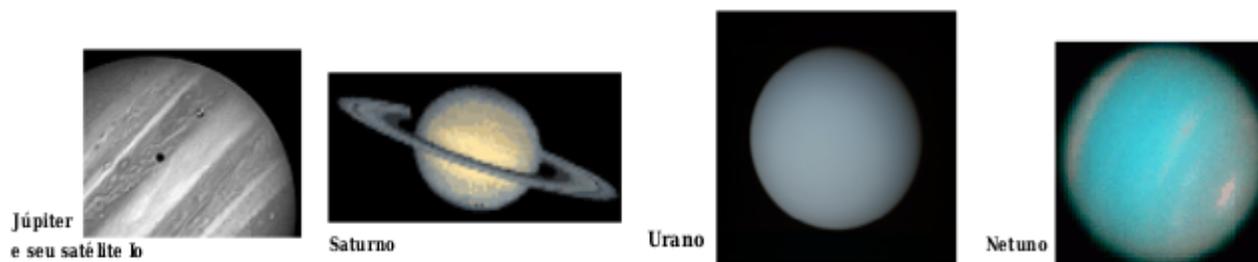
4 Todas as imagens aqui apresentadas foram obtidas do site da Nasa.

5 Fonte básica: Daniela Lazzaro e Marta F. Barroso, Introdução às Ciências Físicas, Módulo 2 – A evolução das idéias sobre o Sistema Solar, Fundação CECIERJ, 2003.

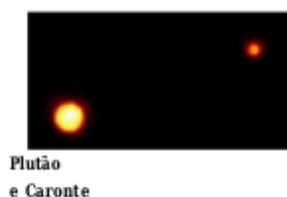
Os quatro planetas mais próximos do Sol (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) são denominados planetas internos ou planetas terrestres – são pequenos, aquecidos por sua proximidade com o Sol, e compostos basicamente por rochas e metais. (As imagens não estão em escala.)



Os quatro planetas seguintes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) são bem maiores, compostos de materiais mais leves (gás, gelo e líquido) – são chamados de planetas gigantes (gasosos). Cada um deles possui um sistema de anéis, compostos de um enorme número de pequenos corpos de tamanhos diversos. O sistema de anéis mais brilhante (e mais famoso) é o de Saturno, que também foi o primeiro a ser descoberto.



Plutão foi classificado como planeta de 1930 (quando foi descoberto) a 2006, quando passou a ser considerado um planeta anão, talvez o maior membro de uma população de corpos. Ele não é nem terrestre nem gigante – parece mais com os maiores satélites dos gigantes.



No Sistema Solar, há outros corpos além do Sol e dos planetas. Cada planeta possui (só Mercúrio e Vênus são exceção) um ou mais satélites – e alguns desses satélites são grandes! A Lua, os satélites galileanos de Júpiter, Titã (de Saturno) e Tritão (de Urano) são consideravelmente grandes. Há muito mais de 100 satélites catalogados, e cada vez mais são descobertos, com as sondas e telescópios espaciais.

Existem também os chamados asteróides e cometas. Na parte interna do Sistema Solar, em sua maioria entre Marte e Júpiter, Saturno, há um grande número de asteróides, um “cinturão”, às vezes chamado de cinturão de asteróides. Após Netuno, nos confins do Sistema Solar, imagina-se haver uma região de onde se considera que originem-se os cometas que de tempos em tempos se aproximam da Terra – a nuvem de Oort. Os cometas são compostos de gelo e água, de dióxido e monóxido de carbono (a cauda é formada quando, ao passar próximo do Sol, o gelo é volatizado).



O asteróide Ida e seu satélite Dactyl.



O cometa Hale - Bopp

Um pouco sobre a história da descrição dos movimentos dos planetas do Sistema Solar

Os movimentos dos corpos no céu são observados desde a antiguidade. Observações do céu a olho nu nos mostram que o Sol, a Lua e as estrelas seguem movimentos aparentemente circulares em torno da Terra. O círculo, para os antigos, era considerada “a forma perfeita” – nada mais razoável, então, que imaginar que os planetas também tinham órbitas similares, todos girando em torno da Terra. O sistema planetário geocêntrico – uma descrição do movimento dos planetas com órbitas circulares em torno da Terra – foi formulado detalhadamente pelo grego Claudius Ptolomeu em 200 aC, e seu modelo permaneceu aceito por mais de 1000 anos.

Pense: estamos na Terra. É difícil a princípio raciocinar que o centro das órbitas dos planetas não é a Terra. Para fazer esta mudança, há necessidade de trocar de sistema de referência, fazer uma abstração e mudar de ponto de vista, o que muitas vezes não é simples (em termos dos processos matemáticos envolvidos).

Em 1543, o astrônomo polonês Nicholas Copérnico (1473-1543) propôs um modelo heliocêntrico, deslocando o Sol para o centro do modelo – isso simplificava o número de círculos necessários para descrever as observações existentes na época. No entanto, o trabalho não era conclusivo, pois os dados e os fundamentos ainda não permitiam a comprovação de que este modelo seria mais correto do que o geocêntrico.

Tycho Brahe (1546-1601, um dinamarquês), conseguiu montar um grande observatório. Fez durante muitos anos (toda a sua vida) observações (a olho nu) incrivelmente precisas a respeito dos movimentos dos planetas. Estas observações foram usadas por Kepler para formular as primeiras leis relativas aos movimentos dos planetas no Sistema Solar.

As leis de Kepler

Johannes Kepler (1571-1630) foi assistente de Tycho Brahe, e o sucedeu no trabalho do laboratório, herdando todas as suas observações. Após alguns anos de trabalho, conseguiu elaborar três leis que descreviam todas as observações disponíveis.

Primeira lei de Kepler – Lei das Órbitas

As órbitas descritas pelos planetas em redor do Sol são elipses, com o Sol em um dos focos.

Segunda lei de Kepler – Lei das Áreas

O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.

Terceira lei de Kepler – Lei dos Períodos

Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como o cubo de suas distâncias médias ao Sol.

A primeira lei de Kepler

A primeira lei de Kepler faz duas afirmações bastante importantes: ao dizer que as órbitas são elípticas, estamos dizendo que o movimento de cada planeta está contido num plano; a segunda, o círculo não é a figura descrita pela órbita (imaginária) dos planetas.

A órbita é porém quase circular. Observe na Tabelas1 os valores das excentricidades das órbitas dos planetas. Lembre que uma elipse é caracterizada pelo seu semi-eixo maior a , pelo semi-eixo menor b e pela distância do centro ao foco, c . (Leia o complemento “A elipse”). Há uma relação entre essas grandezas: $a^2 = b^2 + c^2$. A excentricidade é definida como sendo $\varepsilon = c / a$.

Tabela 1

Objeto	% da massa total do Sistema Solar
Sol	99,80
Júpiter	0,10
Cometas	0,05
Todos os demais planetas	0,04
Satélites e anéis	0,00005
Asteróides	0,000002
Poeira cósmica	0,0000001

Desta tabela, notamos que a órbita de todos os planetas tem baixa excentricidade, ou seja, são todas quase circulares; as mais excêntricas são as de Mercúrio e Plutão. A órbita dos planetas tem outra característica em comum: pequenas inclinações em relação ao plano da eclíptica (o plano da órbita da Terra em torno do Sol). De novo, apenas Plutão – que não é mais considerado um planeta - se diferencia, com uma inclinação de cerca de 20° . Essas duas características das órbitas planetárias, ou seja, baixas excentricidades e inclinações, serão fundamentais na hora que tentarmos responder a outra pergunta: como se formaram os planetas?

A segunda lei de Kepler

Se os raios vetores dos planetas varrem áreas iguais em tempos iguais, isto significa que quando ele está na posição da órbita mais próxima do Sol (o periélio) ele se

desloca mais rapidamente do que quando está na posição mais afastada do Sol (o afélio). Esta lei tem uma explicação muito simples, em termos de uma grandeza conservada.

Vamos discuti-la em breve; adiantamos dizendo que a área está relacionada com o momento angular do planeta em sua órbita, e que esta grandeza momento angular é uma grandeza conservada – é constante no tempo.

A terceira lei de Kepler

A terceira lei pode ser comprovada, nos dias de hoje, facilmente, fazendo-se o cálculo da razão entre T^2/R^3 .

Podemos demonstrá-la para órbitas circulares de maneira simples (supondo conhecidas a lei da gravitação universal de Newton e o valor da aceleração num movimento circular).

E podemos também usar um “truque” muito utilizado: representar de forma gráfica os valores da tabela. Nesta tabela, os valores do raio médio são dados em função da unidade astronômica, definida como a distância entre a Terra e o Sol:

$$1 \text{ U.A.} = \text{distância Terra-Sol} = 1,48 \times 10^8 \text{ km}$$

Tabela 2 - Os períodos e os raios médios dos movimentos dos planetas⁴

Planeta	valores de Copérnico			valores atuais		
	T(anos)	R (U.A.)	T^2/R^3	T(anos)	R (U.A.)	T^2/R^3
Mercúrio	0,241	0,38	1,06	0,241	0,387	
Vênus	0,614	0,72	1,01	0,615	0,723	
Terra	1,000	1,00	1,00	1,000	1,000	
Marte	1,881	1,52	1,01	1,881	1,524	
Júpiter	11,8	5,2	0,99	11,862	5,203	
Saturno	29,5	9,2	1,12	29,457	9,539	

Se representarmos num papel log-log (um papel que “tira o logaritmo” do número) os valores do período versus raio, obteremos uma linha reta. Se a terceira lei de Kepler é válida, $T^2/R^3 = \text{const}$. Então, tomando os logaritmos dos dois lados desta equação (em qualquer base) escrevemos $\log(T^2/R^3) = \log(\text{const})$, ou seja (manipulando os logaritmos) $\log(T) = \frac{3}{2} \log(R) + \text{const}$. Se fizermos $y = \log T$ e $x = \log R$ teremos uma relação linear entre y e x: $y = \frac{3}{2}x + \text{const}$. Num papel log-log, a curva que melhor se ajusta aos dados é uma linha reta... (Neste procedimento, estamos **linearizando** uma curva.)

Galileu e a observação dos céus

Galileu Galilei começou a utilizar um instrumento recentemente descoberto (em cerca de 1600) para observar o céu. Com isso, “viu” vales e montanhas na Lua, muitas estrelas não visíveis a olho nu, observou os planetas de Júpiter – os 4 satélites “galileanos”, e verificou que Vênus também apresentava fases similares às da Lua. Publicou todas estas observações em um livro, em 1610, “O Mensageiro das Estrelas”, que provocou grande sensação e polêmica.

A lei da gravitação universal de Newton

Após os trabalhos de Kepler, Isaac Newton (nascido em 1642) trabalhou durante muitos anos e conseguiu uma lei física que expressava a interação gravitacional entre dois objetos. A partir dessa lei, todas as leis de Kepler podiam ser obtidas.

A lei da gravitação universal de Newton afirma que duas partículas de massas m_1 e m_2 separadas por uma distância $r_{12} = |r_1 - r_2|$ são atraídas mutuamente por uma força proporcional ao produto das massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. A constante de proporcionalidade, chamada de constante gravitacional, pode ser medida:

$6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$. Em módulo,

$$F_{1(2)} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$$

Observe que:

a) se você pensar num objeto nas vizinhanças da superfície da Terra, e usar os valores de $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$, $m_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$, $r_T = 6400 \text{ km} = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$, obterá para a força de atração gravitacional da Terra sobre o objeto um valor igual a seu peso: mg , com $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ (faça o cálculo!).

b) se você considerar duas pessoas (ou dois objetos) de massas estimadas 100 kg cada, separadas por uma distância de 1,0 m, o valor da força de atração gravitacional entre as duas é muitas ordens de grandeza inferior ao peso de cada uma delas...

Finalmente, veja como a terceira lei de Kepler pode ser obtida a partir da lei da gravitação universal. Se supusermos que as órbitas dos planetas é circular (uma aproximação bastante razoável), e lembrarmos que um corpo em movimento circular uniforme tem uma aceleração centrípeta igual a $a_c = v^2/R$, e que a velocidade pode ser escrita como $v = 2\pi R/T$, onde T é o período da volta completa em torno do círculo, podemos escrever (lembrando que $F = ma$) para cada um dos planetas (de massa m) e o Sol (de massa M)

$$F_{\text{grav}} = G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R} = m \frac{(2\pi R/T)^2}{R}$$

Uma pequena manipulação algébrica (simplificações, arrumações) nos dá

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G} = \text{const} \quad \text{que}$$

para todos os planetas.

Bibliografia para leitura complementar sobre esta unidade

Daniela Lazzaro e Marta Feijó Barroso, Introdução às Ciências Físicas – vol. 2, Módulo 2: A evolução das idéias sobre o Sistema Solar. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2003.

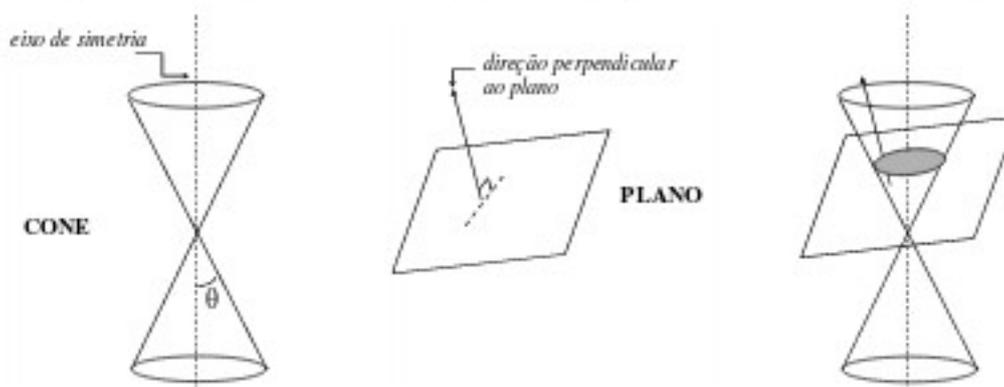
H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica – vol. 1 – Mecânica, 4a. Edição. Editora Edgard Blücher, 2002.

ANEXO B – Texto complementar – Cônicas: A elipse

Texto complementar – Cônicas: A elipse

A elipse é uma das curvas cônicas – uma curva que é obtida através da interseção de um cone com um plano. Como indicado na Figura 1, quando uma superfície cônica é interceptada por um plano cuja direção é tal que a sua normal faz um ângulo α com o eixo de simetria tal que $\alpha > 0$ e $\alpha < \theta$ (o ângulo entre a geratriz da superfície cônica e o eixo), a linha correspondente à interseção das duas superfícies é uma elipse. (Se o plano for colocado com outras inclinações, podemos gerar as demais curvas cônicas: a parábola e a hipérbole; o círculo é um caso particular em que a direção do plano é perpendicular ao eixo de simetria).

Figura 1 – a elipse como interseção da superfície de um cone com um plano



A elipse também é a curva num plano definida como o lugar geométrico dos pontos cuja soma das distâncias a dois pontos fixos – os focos – é constante.

Vamos agora trabalhar com as propriedades da elipse. Separe duas tachinhas (de prender papel em quadros de cortiça) ou dois alfinetes, um pedaço de barbante, um lápis, uma régua e uma folha de papel.

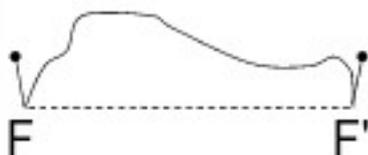
Trace no papel, com a régua, um segmento de reta de cerca de 20 cm. Marque o extremo desses segmentos com as letras F e F' – os focos da elipse.

Prenda no papel as duas tachinhas (ou alfinetes) nos dois extremos do segmento traçado, os pontos F e F'.

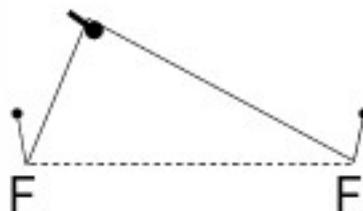
Pegue um pedaço de barbante com cerca de 40 cm. Faça dois nós em suas extremidades e prenda esses dois nós às tachinhas, como mostra a Figura 2a.

Figura 2

(a)



(b)

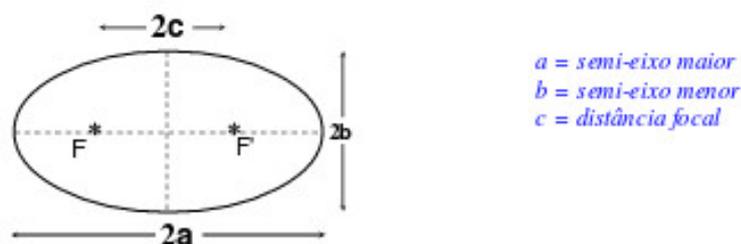


Com um lápis, estique o fio, como mostra a Figura 2b. Agora trace com o lápis uma volta completa, mantendo o barbante esticado.

A figura que você traçou é uma elipse. Como o barbante tem comprimento fixo, a soma dos comprimentos de qualquer ponto da linha que você traçou aos pontos F e F' é constante.

Na Figura 3 representamos a elipse desenhada por você. Chamamos o tamanho do *semi-eixo maior* de a , o tamanho do *semi-eixo menor* de b e a distância entre o centro geométrico da elipse e cada um dos focos de c , também chamada *distância focal*.

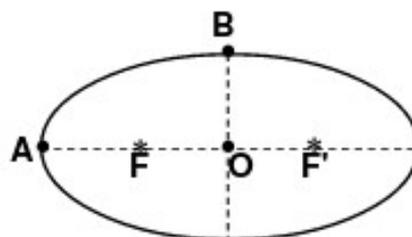
Figura 3



Observe a Figura 4. A distância OA vale a , a distância OB vale b e a distância OF vale c . Agora lembre-se do fio de barbante. Coloque o lápis no ponto A. O tamanho do fio vale

$$\ell = FA + F'A = (a - c) + (a + c) = 2a$$

Figura 4



Então *o tamanho do eixo maior da elipse é o comprimento do fio*: $\ell = 2a$.

Se considerarmos agora o lápis no ponto B, podemos escrever para o comprimento do fio (que já sabemos que vale $2a$)

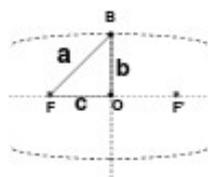
$$\ell = 2a = FB + F'B = 2FB$$

pois os triângulos FBO e $F'BO$ são congruentes.

O triângulo FOB é retângulo, como mostra a Figura 5, e seus lados valem a , b e c , e portanto:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

Figura 5



A excentricidade de uma elipse é definida como sendo

$$\varepsilon = c / a$$

Esta excentricidade assume um valor entre 0 e 1. Se $\varepsilon=0$, isto é, $c=0$, temos que $b=a$ e a elipse reduz-se a um círculo. Se $\varepsilon=1$, $b=0$ e a elipse reduz-se a um segmento de reta. Os valores intermediários correspondem a elipses: quanto mais próximo de 1 o valor da excentricidade, mais achatada é a elipse.

Exercícios 1

- Trace uma elipse de excentricidade 1.
- Trace uma elipse de excentricidade 0,5.
- Trace uma elipse de excentricidade 0,1.
- Com os valores da excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol (0,02) e o tamanho do semi-eixo maior dessa órbita ($1 \text{ UA} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$). Trace, em papel milimetrado e em escala, uma órbita elíptica com essa excentricidade.

Trace agora um círculo, em outra cor, com raio igual ao semi-eixo maior da órbita. Olhe para os dois traçados e verifique se você consegue distingui-los. A partir daí, você acha razoável considerar que a órbita da Terra é uma órbita circular?

Exercícios 2

Considere um sistema de coordenadas fixo ao centro O da elipse (veja a figura). Obtenha, a partir da definição da elipse (lugar geométrico) a equação que descreve os pontos que pertencem

a ela: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

