



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

NURIA CRIADO SCARPIN

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL PARA
O ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

**MARINGÁ
2023**

NURIA CRIADO SCARPIN

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL PARA
O ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Física como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física pela Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

MARINGÁ
2023

NURIA CRIADO SCARPIN

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL PARA
O ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Física como requisito parcial
para obtenção do grau de Licenciado em Física
pela Universidade Estadual de Maringá.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Jurandir Hillmann Rohling
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves
Universidade Estadual de Maringá

MARINGÁ
2023

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves, por ter aceitado me orientar no desenvolvimento deste trabalho e por toda a paciência que teve durante o percurso. A ele, ainda, nunca terei palavras suficientes para expressar minha gratidão pelos anos de orientação no Programa de Educação Tutorial em Física, onde pude desenvolver diversos projetos de ensino, pesquisa e extensão, que renderam vários trabalhos publicados durante a graduação.

Aos PETianos do Grupo PET Física da Universidade Estadual de Maringá, agradeço de coração a parceria nos projetos desenvolvidos e a feliz convivência.

Ao meu namorado Celso Renato por estar presente desde o início, vibrando com minhas conquistas e me confortando nos momentos mais difíceis dessa trajetória.

Aos meus pais, Francisco e Regina pelo apoio incondicional e por serem as pessoas que mais acreditam em mim, e à minha irmã Sofia pelo companheirismo de sempre.

À minha psicóloga Thais, pelo excelente trabalho nas sessões de psicoterapia, que me ajudaram tanto a evoluir no andamento deste trabalho e em muitos outros aspectos da vida.

Ao meu primeiro professor de Física no ensino médio, o Prof. Edson Dalla Vecchia, por me inspirar a seguir este campo de estudo tão admirável.

Aos meus amigos da graduação, especialmente à Luana, Vitória e Kaique, que se tornaram essenciais na minha trajetória, amigos que pretendo levar para toda a vida. Agradeço também ao Cristhian, à Luciane, e ao Gabriel por toda a ajuda ao longo da graduação.

À professora Dra. Hatsumi Mukai pela coordenação da monografia e por suas contribuições, especialmente no início deste trabalho.

Aos meus professores do curso de Física da Universidade Estadual de Maringá pela excelência da qualidade técnica de cada um.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Resumo

Tendo em vista o atual cenário sobre o ensino de Física e a baixa aprendizagem dessa disciplina por alunos do Ensino Médio, o presente trabalho trata sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa a fim de explicar e propor essa perspectiva pedagógica como caminho para o ensino de Física no Ensino Médio, em contraposição aos métodos do ensino tradicional. Para tanto, foi necessário compreender a teoria da aprendizagem significativa e como ela pode ser aplicada de maneira efetiva em sala de aula, realizar um estudo bibliográfico sobre tópicos da Gravitação Universal por meio de uma abordagem histórica e elaborar uma sequência didática com base nos pilares da aprendizagem significativa, abordando a temática escolhida. Diante disso, verificou-se que a sequência didática proposta apresenta os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa e prevê as exigências da Base Nacional Comum Curricular e do Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná, onde foi possível concluir que a sequência didática proposta é potencialmente significativa e o estudo contribui para o ensino de Física no âmbito do Ensino Médio.

Palavras-chave: Teoria da Aprendizagem Significativa, Aprendizagem Significativa, Gravitação Universal, Sequência Didática.

Sumário

Agradecimentos	4
Resumo	5
Introdução	8
A Teoria da Aprendizagem Significativa	9
1.1 Origens da Teoria da Aprendizagem Significativa	9
1.2 O que é Aprendizagem Significativa?	11
1.2.1 Subsunção	11
1.2.2 Estrutura cognitiva e seus processos	13
1.2.3 Sistematização da Aprendizagem Significativa	13
1.3 Condições básicas para a Aprendizagem Significativa	14
1.4 Dimensões da Aprendizagem Significativa	15
1.5 Diferença entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa	17
1.6 Estratégias e instrumentos facilitadores na TAS	18
1.6.1 Organizadores Prévios	18
1.6.2 Linguagem	19
1.6.3 Mapa conceitual	19
1.6.4 Diagrama V	20
1.6.5 Revisão e Atividades Colaborativas	21
A Lei da Gravitação Universal	22
2.1 Aristóteles e as esferas celestes	22
2.2 Cláudio Ptolomeu	24
2.3 Nicolau Copérnico	26
2.4 Tycho Brahe	27
2.5 Johannes Kepler	28
2.6 Galileu Galilei	30
2.7 Isaac Newton	33
Sequência Didática aplicada ao ensino da Gravitação Universal	38
3.1 Conteúdo programático segundo a BNCC e o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná	38
3.2 Proposta da Sequência Didática	39
3.2.1 Primeira Aula	39
3.2.2 Segunda e Terceira Aulas	40
3.2.3 Quarta e Quinta Aulas	42
3.2.4 Sexta e Sétima Aulas	44
3.2.5 Oitava e Nona Aulas	46
3.2.6 Décima Aula	50
3.2.7 Décima primeira Aula	51
3.3 Análise da Sequência Didática	52
3.3.1 Quanto aos princípios da TAS	52

3.3.2 Quanto à BNCC e ao Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná	55
Considerações Finais	56
Referências bibliográficas	57
Apêndice A	60
Apêndice B	61

Introdução

A Física, como disciplina obrigatória no Ensino Médio, é considerada uma das mais difíceis e menos apreciadas, de maneira geral, pelos alunos. As dificuldades encontradas durante o desenvolvimento de um processo de ensino-aprendizagem efetivo, são decorrentes, principalmente, dos efeitos da consumação do ultrapassado ensino tradicional. Diante de um paradigma cartesiano, o ensino de Física atual é implementado e executado segundo uma ótica mecanicista e materialista do conhecimento, em que este é caracterizado por uma divisão de saberes tal, que a ciência foi desassociada, inclusive, do seu próprio processo histórico (NEVES, 1998).

Nessa transposição inadequada do conhecimento científico para a sala de aula, a ciência é concebida pelos alunos como uma verdade imutável, eterna e descoberta quase que mágicamente por gênios que não podem errar (MARTINS, 2006). Este falso caráter dogmático da ciência é reforçado no ensino tradicional, analogamente à concepção de educação bancária de Paulo Freire, uma vez que o professor desempenha o papel de detentor e transmissor do conhecimento e o aluno, tido como uma folha em branco que deve ser preenchida, é o receptor desse conhecimento (FREIRE, 1981). O resultado desse processo é o que se observa no ensino básico de Física no Brasil: a insuficiente ou inexistente aprendizagem por parte dos alunos.

Levando em consideração o atual cenário sobre a baixa aprendizagem de Física por alunos do ensino médio, esse estudo justifica-se por apresentar uma perspectiva pedagógica diferente da tradicional, que insiste com métodos puramente mecânicos, memorizativos e algébricos, em detrimento do desenvolvimento do pensamento crítico. Dessa forma, o presente trabalho visa abordar a problemática sobre como a teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel pode auxiliar alunos e professores num processo de ensino-aprendizagem eficiente no campo da Física.

Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa é explicar e propor a abordagem da teoria da aprendizagem significativa como caminho para o ensino de Física no Ensino Médio, tomando como um exemplo, a gravitação universal elaborada por *Sir* Isaac Newton. De forma mais específica, buscou-se compreender a teoria da aprendizagem significativa e como ela pode ser aplicada de maneira efetiva em sala de aula, realizar estudo bibliográfico sobre tópicos da gravitação universal através de uma abordagem histórica. Por fim, elaborou-se uma sequência didática sobre Gravitação Universal com base nos pilares da aprendizagem significativa, abordando os conceitos estudados anteriormente em relação à temática escolhida.

Capítulo 1

A Teoria da Aprendizagem Significativa

1.1 Origens da Teoria da Aprendizagem Significativa

David Paul Ausubel (1918-2008), psicólogo e teórico americano da educação, nasceu e cresceu no Brooklyn, em Nova Iorque. A família de David P. Ausubel era de origem judaica e pobre, que fez parte do grande fluxo migratório de judeus entre 1905 e 1914, o qual envolveu cerca de 700 mil indivíduos em direção aos Estados Unidos da América (EUA) (PUHL; MÜLLER; DE LIMA, 2020).

Durante sua infância, Ausubel vivenciou a perseguição aos judeus por parte do movimento Ku Klux Klan nos EUA, que se intensificou entre 1915 e 1944, com a alegação de que os europeus de classe baixa eram responsáveis pelo aumento da criminalidade e da violência no país. Nesse contexto, a escola também reprimia e punia os alunos judeus por meio de práticas abusivas, como relatado pelo próprio autor: castigos como esfregar sabão de lixívia na boca por ter dito palavras impróprias, ser deixado de pé em um canto para ser humilhado diante da classe ou ainda ser obrigado a comer carne de porco, algo considerado um crime pela lei judaica (PUHL; MÜLLER; DE LIMA, 2020).

Essa conjuntura motivou Ausubel, frustrado com a sua trajetória escolar, que era caracterizada pela ausência de condições que contribuíssem para seu desenvolvimento profissional e para a aprendizagem de novos conhecimentos pelos demais alunos, a investigar os processos de ensino e de aprendizagem a fim de entender como estes poderiam ser mais eficazes e de que forma os indivíduos aprendem, o que o levou a propor mais tarde, o que seria a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) (COELHO; MARQUES; SOUZA, 2019).

Ausubel obteve seu diploma de bacharel em Psicologia pela University of Pennsylvania em 1939. Em seguida, em 1940, concluiu seu mestrado em psicologia experimental na Columbia University. Em 1943, graduou-se em medicina pela Middlesex University e em 1950, obteve seu Doutorado em Psicologia do desenvolvimento pela Columbia University. Depois de concluir sua formação acadêmica, Ausubel trabalhou como professor em várias universidades até 1973, quando se aposentou da vida acadêmica para se dedicar à prática psiquiátrica em tempo integral. A partir de 1980, publicou vários livros sobre Psicologia do Desenvolvimento e da Educação, dependência de drogas, psicopatologia e desenvolvimento do ego, além de mais de 150 artigos em periódicos psicológicos e psiquiátricos. Em 1976, Ausubel recebeu o Prêmio

Thorndike da American Psychological Association por suas "Contribuições Psicológicas Distintas para a Educação", em reconhecimento à sua vasta pesquisa em psicologia (AUSUBEL, 2019).

Duas obras de destaque de Ausubel na área da Educação são "Psicologia Educacional" (1968) e "Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva" (2003). A Teoria de Aprendizagem Significativa foi desenvolvida por Ausubel em 1963 e 1968 e reiterada em 2003. Durante esse período, a teoria foi aprimorada por diversos estudiosos, incluindo Joseph Novak e Helen Hanesian, co-autores da publicação de 1981, e D. Bob Gowin. No Brasil, Marco Antônio Moreira também contribuiu com diversas descrições da teoria. Quando "Psicologia Educacional" foi publicado em 1968, o texto sugere que na época, as concepções behavioristas eram dominantes nos Estados Unidos e que se acreditava na influência do ambiente sobre o indivíduo. Nessa perspectiva, o conhecimento dos estudantes não era considerado, e acreditava-se que a aprendizagem só ocorreria se o conteúdo fosse ensinado por alguém (PUHL; MÜLLER; DE LIMA, 2020).

Ausubel tinha uma concepção de ensino e aprendizagem oposta à do behaviorismo. Segundo Ausubel (2003, p. 113), a aprendizagem é vista como o "processo de aquisição de novos significados reais a partir dos significados potenciais apresentados no material de aprendizagem e de torná-los mais disponíveis", no qual o novo conhecimento interage com os conhecimentos prévios na estrutura mental, ampliando-se e incorporando-se para permitir a compreensão de conceitos.

Puhl, Müller e De Lima (2020) apontam que as ideias de Ausubel foram introduzidas no Brasil no início da década de 1970 pelo Prof. Joel Martins, que começou a ministrar cursos de pós-graduação na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP) baseados nas ideias do pesquisador norte-americano. Em 1975, Ausubel visitou o Brasil e coordenou um Seminário Avançado na PUC-SP, que contou com a presença de 25 pesquisadores de todo o país.

Precisamente nesse seminário, Pontes Neto (2006) teve a oportunidade de questionar o próprio Ausubel a respeito dos fundamentos em que sua teoria estava assentada e que relação ela mantinha com o que já havia sido produzido em termos de psicologia da aprendizagem. A isto, ele respondeu que criou a teoria de aprendizagem significativa inspirado na confusão, desorganização e fragmentação dos conteúdos que havia visto durante seus estudos, especialmente no curso de medicina, mencionando apenas um único autor que teria subsidiado a construção do seu alicerce teórico: Frederic Charles Bartlett.

De acordo com Pontes Neto (2006), Bartlett é considerado o maior precursor da psicologia cognitiva e sugeriu idéias importantes sobre os processos mentais do seres humanos

como: a necessidade de assimilar novos conteúdos a conceitos já aprendidos, aos quais ele chama de “esquemas”; que a aprendizagem resultante dessa assimilação não é uma réplica do que foi proposto para ser aprendido; que os novos conteúdos acabam sendo envolvidos por informações mais amplas; e que durante o ato de lembrar, um esquema pode ser ativado para criar ou recriar detalhes a ele relacionado. Esses quatro itens encontram ressonância na teoria da aprendizagem significativa, criada por Ausubel, assim, é possível que Ausubel tenha se inspirado no seu estudo clássico para visualizar algumas noções da teoria da aprendizagem significativa.

1.2 O que é Aprendizagem Significativa?

Segundo Moreira (2010, p.2) “a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação não-literal e não-arbitrária entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” Nas palavras de Valadares (2011, p.36), “dizemos que um indivíduo aprende significativamente quando consegue relacionar, de maneira substantiva e não arbitrária, a nova informação com uma estrutura de conhecimento específica que faz parte integrante da sua estrutura cognitiva prévia.”

Dizer que a interação é “substantiva” ou “não-literal”, significa que o estudante retém o cerne do novo conhecimento, não apenas as palavras usadas para sua expressão *ipsis litteris*. O educando deve ser capaz de expressar um conceito ou proposição com as próprias palavras: “A aprendizagem significativa é substantiva porque é a «substância», o «recheio» do conceito que é apreendido e não apenas um nome e (ou) um enunciado sem qualquer significado para quem aprende”. (VALADARES, 2011. p. 37). Por outro lado, de acordo com Moreira (2010), entender que a interação é “não-arbitrária” quer dizer que ela não ocorre com qualquer ideia prévia, mas com algum conhecimento especificamente relevante que exista na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

1.2.1 Subsunçor

David Ausubel utilizou os termos "subsunçor" ou "ideia-âncora" para se referir ao conhecimento prévio que é especialmente relevante para a aprendizagem de novos conhecimentos. Um subsunçor é um conhecimento específico que já existe na estrutura cognitiva do indivíduo e que, por meio da interação, pode ser utilizado para dar significado a

um novo conhecimento apresentado ou descoberto pelo aprendiz. O subsunçor não se limita a um conceito, podendo ser uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo, um esquema ou qualquer outra cognição já existente na estrutura cognitiva do aprendiz, que seja especialmente relevante para a aprendizagem significativa de determinados novos conhecimentos (MOREIRA, 2010).

Moreira (2010) afirma que o subsunçor pode apresentar diferentes níveis de estabilidade cognitiva e diferenciação, variando em termos de elaboração e significados. Entretanto, durante o processo interativo de servir como ideia-âncora para novos conhecimentos, ele próprio é modificado e adquire novos significados, reforçando os significados já existentes. Por meio de novas aprendizagens significativas resultantes de interações entre novos conhecimentos e o subsunçor, este se tornará cada vez mais estável, claro, diferenciado e rico em significados. O aprendiz é quem atribui significado ao subsunçor, permitindo que este facilite cada vez mais novas aprendizagens.

É importante destacar que nem todo conhecimento prévio será um subsunçor. Caso um conhecimento prévio não seja usualmente utilizado como suporte para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, ele não passará naturalmente pelo processo de elaboração e diferenciação cognitiva. Além disso, um subsunçor muito rico e elaborado, com múltiplos significados claros e estáveis, pode ser esquecido ao longo do tempo e "encolher", ou seja, seus significados podem não ser mais tão claros ou discerníveis entre si caso não seja frequentemente utilizado. Esse processo de esquecimento é normal no funcionamento cognitivo, chamado de assimilação obliteradora por Ausubel. Entretanto, no que se refere à aprendizagem significativa, a reaprendizagem, resgate ou reativação do subsunçor é possível e relativamente rápida. Portanto, a aprendizagem significativa não significa que o indivíduo nunca esqueça o que aprendeu (MOREIRA, 2010).

A clareza, estabilidade cognitiva, abrangência e diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, de acordo com as aprendizagens significativas do sujeito. Consiste em um conhecimento dinâmico que pode evoluir ou involuir. Esses conhecimentos interagem entre si e podem se organizar e reorganizar. Moreira (2010) faz uma analogia explicando que nossa cabeça contém um conjunto dinâmico de subsunçores e o complexo organizado de subsunçores e suas inter-relações em um campo específico de conhecimento constituem a estrutura cognitiva de um indivíduo nesse campo.

1.2.2 Estrutura cognitiva e seus processos

Ausubel considera a estrutura cognitiva como uma rede de subsunçores inter-relacionados e organizados em uma hierarquia dinâmica. Nessa estrutura ocorrem dois processos principais, denominados diferenciação progressiva e reconciliação integradora (MOREIRA, 2010).

A diferenciação progressiva ocorre quando um subsunçor adquire novos significados ao ser utilizado sucessivamente para dar sentido a novos conhecimentos que o sujeito esteja aprendendo. Após diversas interações, o subsunçor vai sendo assimilado, tornando-se cada vez mais rico, refinado e diferenciado, o que o capacita a ancorar novas aprendizagens significativas. Esse princípio segue uma hierarquia, partindo das ideias mais gerais para as mais específicas. (MOREIRA, 2012)

Ao mesmo tempo, vai se tornando possível encontrar cada vez mais relações entre os conceitos, justamente por estarem mais diferenciados e enriquecidos. Quando estas relações são estabelecidas entre conceitos anteriormente separados, vão resultando conceitos mais gerais, mais abrangentes do que aqueles que se relacionaram, chamados na TAS de *conceitos superordenados*. Este processo simultâneo ao da diferenciação progressiva, que integra significados e percebe novas relações entre os conceitos anteriormente diferenciados, visando construir um novo conceito mais geral e abrangente ou dar uma nova posição hierárquica a um conceito já existente, é chamado de reconciliação integradora (VALADARES, 2011).

Assim, enquanto a diferenciação progressiva parte das ideias mais gerais para as mais específicas, o princípio da reconciliação integrativa consiste basicamente no delineamento explícito das relações entre ideias, retornando conceitos mais amplos. O aluno aprende através da combinação sistemática destes dois mecanismos: diferenciação progressiva de conceitos mais gerais e abrangentes que vão-se diferenciando e especificando cada vez mais; e reconciliação integradora entre conceitos já suficientemente diferenciados e especificados para originarem conceitos mais gerais e/ou para serem reorganizados hierarquicamente na estrutura cognitiva do aprendiz (VALADARES, 2011).

1.2.3 Sistematização da Aprendizagem Significativa

Ao relacionar uma nova informação de maneira substantiva com um subsunçor que já possui, o aprendente atribui um significado pessoal à nova informação, podendo ser mais ou menos próximo do significado científico que é compartilhado pela comunidade que detém o conhecimento científico sobre o assunto. Assim, a aprendizagem significativa não implica

necessariamente em aprendizagem cientificamente correta. Esta sistemática é explicada da seguinte maneira por Valadares (2011):

$$i + S \rightarrow i'S' \quad (1.1)$$

em que:

i – informação nova potencialmente significativa

S – subsunçor (ideia já estabelecida)

$i'S'$ – produto interacional resultante

De acordo com Silva (2020) a sistemática acima referida descreve que $i'S'$ é o resultado da interação entre a informação nova potencialmente significativa (i) e subsunçor (S). Portanto, no final do processo, tanto o subsunçor prévio S , como a informação nova potencialmente significativa i que se pretendia transmitir, sofrem modificação. Após a interação obtém-se agora um subsunçor prévio modificado (S') e uma ideia também modificada (i') que passou a ser idiossincrásica (particular, pessoal), à qual o aprendente atribuiu à informação nova (i') uma ideia, mais ou menos diferente da ideia inicial i que se pretendia transmitir.

1.3 Condições básicas para a Aprendizagem Significativa

Pelizzari *et al* (2002) afirmam que, em suma, uma aprendizagem predominantemente significativa só ocorre se estiverem reunidas duas condições fundamentais: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

A primeira condição demanda que o material de aprendizagem (slides, apostilas, livros, aulas, simuladores virtuais, vídeos, aplicativos, jogos, entre outros) possua um significado lógico: que possa ser relacionado de forma não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. A segunda condição requer que o aprendiz possua idéias-âncora relevantes em sua estrutura cognitiva, ou seja, subsunçores com os quais o material possa ser relacionado. O material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer essa relação de forma não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2010).

É fundamental destacar que o material de aprendizagem em si, não pode ser significativo, apenas potencialmente significativo. O significado reside nas pessoas e, portanto, é o aprendiz que atribui significado aos materiais de aprendizagem. No entanto, esses

significados atribuídos pelo aluno podem não ser necessariamente os aprovados no contexto da matéria de ensino (PELIZZARI *et al*, 2002).

A segunda condição é mais desafiadora de ser atendida: o aprendiz precisa estar disposto a relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, aos seus conhecimentos prévios. Predisposição para aprender não se trata precisamente de motivação, ou de apreço pela matéria, mas sim de uma ação positiva do aluno em confrontar a nova informação com o subsunçor, analisar diferenças/semelhanças, e estabelecer as pontes entre ambos. Essa atitude precisa e deve partir do aluno, portanto a efetivação da aprendizagem vai depender da sua postura diante da evolução do seu próprio conhecimento, e não somente da ação do professor (SILVA, 2020).

Por outro lado, ainda que o aluno tenha essa predisposição para aprender e queira atribuir significados aos novos conhecimentos, se ele não tiver os conhecimentos prévios adequados, ou o material didático não tiver significado lógico, a aprendizagem significativa não poderá ser alcançada. Ausubel, nesse sentido, considerou como premissa fundamental que, se fosse possível identificar uma única variável como a que mais influencia a aprendizagem, seria o conhecimento prévio do aprendiz (SILVA, 2020).

Isto porque a primeira das duas condições para a aprendizagem significativa é fortemente dependente do conhecimento prévio do aprendiz, pois se não existir subsunçores adequados, o material instrucional não será potencialmente significativo e conseqüentemente os novos conhecimentos que ele contém, também não. No entanto, a segunda condição também tem relação com o conhecimento prévio, pois normalmente quanto mais o indivíduo domina significativamente uma área de conhecimentos, possuindo assim mais subsunçores a respeito, mais se predispõe a novas aprendizagens nessa área ou em áreas afins (MOREIRA, 2010).

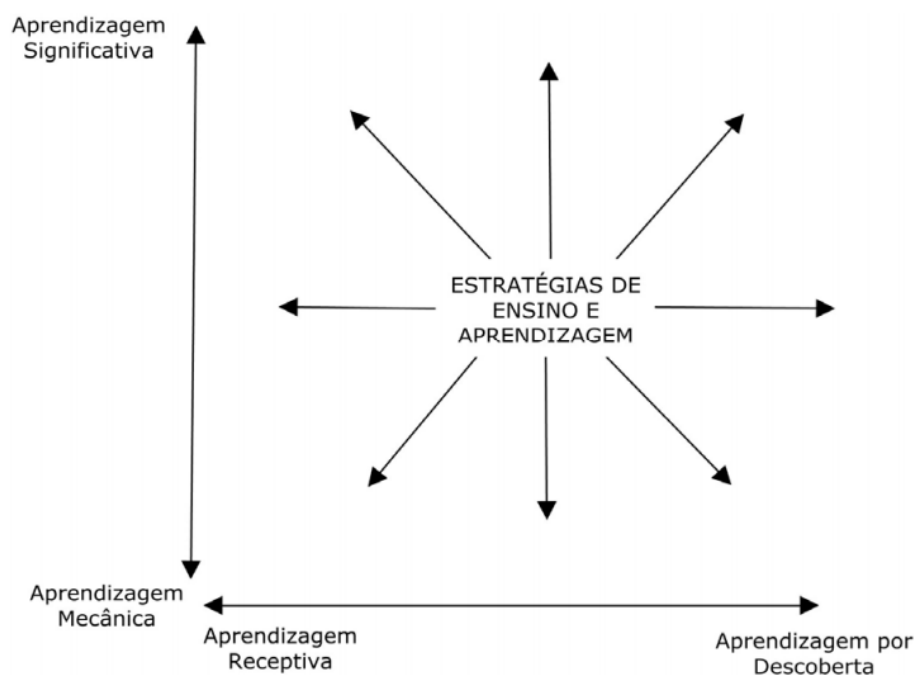
1.4 Dimensões da Aprendizagem Significativa

Na TAS consideram-se duas dimensões da aprendizagem: uma tem a ver com a forma como o aluno aprende, mais ou menos literal (mecânica) ou significativa; outra diz respeito à forma como o aluno é confrontado com a estrutura do assunto, por recepção da mesma que lhe é exposta pelo professor ou num livro ou outra fonte a que recorre, ou por descoberta orientada pelo professor ou guiada de outro qualquer modo, ou mesmo por descoberta totalmente autónoma (VALADARES, 2011).

Assim, a aprendizagem receptiva é aquela em que o aprendiz recebe o novo conhecimento a ser aprendido em sua forma final. Já a aprendizagem por descoberta é aquela em que o aprendiz deve descobrir primeiro o que vai aprender (PELIZZARI *et al*, 2002). No

entanto, Ausubel chama a atenção para o fato de que essas duas formas de aprendizagem não são dicotômicas: a aprendizagem ser mais ou menos significativa ou mecânica não está relacionada ao fato de ser mais ou menos por descoberta, seja ela autônoma ou guiada, ou por recepção. Elas existem em dois contínuos distintos: aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa e aprendizagem por recepção – aprendizagem por descoberta e qualquer aprendizagem se situa em algum lugar destes dois contínuos, como ilustra a figura a seguir:

Figura 1.1: Representação de um sistema de coordenadas hipotético formado pelos eixos aprendizagem mecânica x aprendizagem significativa e aprendizagem receptiva x aprendizagem por descoberta.



Fonte: MOREIRA (2010, p. 15).

A aprendizagem receptiva não implica que ela seja mecânica, caracterizada pela passividade do ensino expositivo tradicional. Pelo contrário, demanda um alto nível de atividade cognitiva para estabelecer relações entre os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz e os que está disposto a aprender, incluindo processos de captação de significados, ancoragem, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. Da mesma forma, a aprendizagem por descoberta não garante a aprendizagem significativa: após a descoberta, as condições necessárias para a aprendizagem significativa ainda precisam ser satisfeitas (PONTES NETO, 2006).

Na prática, adultos e crianças um pouco mais crescidas aprendem principalmente por recepção. Não seria possível para os seres humanos aprender significativamente toda a vasta quantidade de informações e conhecimentos que há à disposição se tivessem que fazê-lo por

descoberta. No entanto, do ponto de vista didático, esta forma de aprender pode ser instigante e útil para facilitar a aprendizagem de certos procedimentos científicos, por exemplo (MOREIRA, 2010).

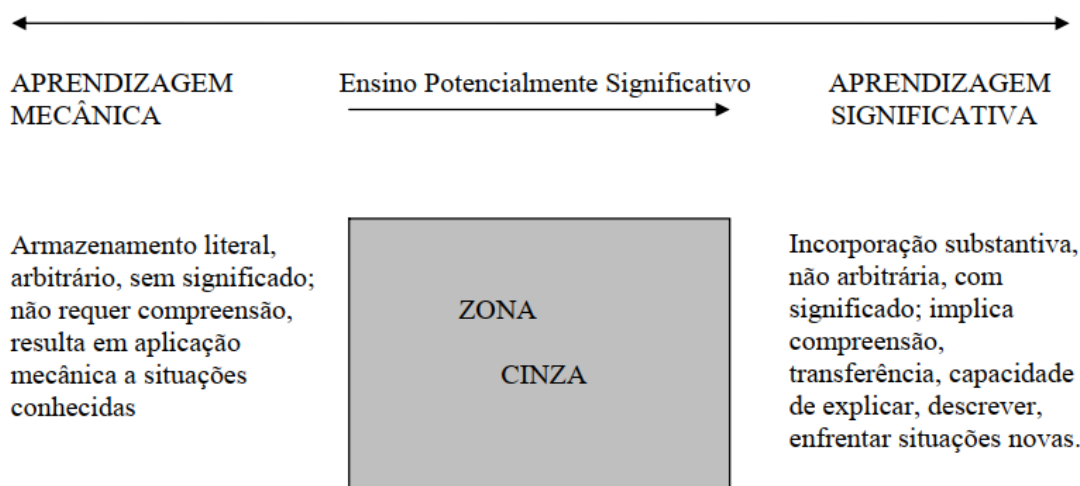
1.5 Diferença entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa

Até o momento, discorreu-se sobre a aprendizagem significativa, seus principais fatores influenciadores e as condições que a favorecem. No entanto, na escola, a forma mais comum de aprendizagem é a mecânica, literal - uma aprendizagem quase desprovida de significado, focada na memorização pura e simples usada em avaliações, mas em seguida é rapidamente esquecida, deletada. Apesar disso, essa forma de aprendizagem é bastante incitada pelos alunos e pela própria escola (MOREIRA, 2010).

Do ponto de vista cognitivo, a informação é simplesmente internalizada, praticamente sem interagir com os conhecimentos prévios. A nova informação que se apresenta ao aluno não interage com qualquer subsunçor adequado ou porque este não existe mesmo, ou porque o aluno não quis desenvolver o esforço de confrontar a nova informação com o subsunçor, analisar diferenças e semelhanças, estabelecer as conexões entre eles, desencadeando o processo de assimilação com significado (VALADARES, 2011).

Entretanto, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica tampouco são dicotômicas. Na realidade, há uma variação contínua de uma aprendizagem altamente significativa até uma aprendizagem profundamente mecânica ou memorística, havendo o que Moreira (2010) chamou de “zona cinza” entre elas, como sugere a Figura 1.2:

Figura 1.2: Representação esquemática do contínuo aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica, sugerindo que grande parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária desse contínuo e que um ensino potencialmente significativo pode facilitar “a caminhada do aluno nessa zona cinza”.



Fonte: MOREIRA (2010, p. 12).

O autor ainda aponta que diferentemente da aprendizagem mecânica, que resulta em esquecimento rápido e quase total do conhecimento adquirido, na aprendizagem significativa, o esquecimento é residual. Ou seja, há um resíduo da informação no subsunçor. Inicialmente, a aprendizagem significativa é preferível em relação à mecânica pela obtenção da compreensão, do significado e da capacidade de transferir o conhecimento para situações novas, enquanto na aprendizagem mecânica, o sujeito é capaz de lidar apenas com situações rotineiras e conhecidas. Mais tarde, é favorável pela maior retenção do conhecimento e pela possibilidade de reaprendizagem, que quase não existe na aprendizagem mecânica, em um período de tempo muito menor do que o necessário para aprendê-lo pela primeira vez.

1.6 Estratégias e instrumentos facilitadores na TAS

Nas seções anteriores foram destacados alguns aspectos importantes da Teoria da Aprendizagem Significativa. A seguir, serão apresentados estratégias e instrumentos didáticos, facilitadores da aprendizagem significativa.

1.6.1 Organizadores Prévios

Na condição em que o aprendiz não possui subsunçores apropriados para dar significado aos novos saberes, muitas vezes se sugere o uso de organizadores prévios como solução. Organizadores prévios são recursos instrucionais apresentados em um grau mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Eles podem ser apresentados na forma de enunciados, perguntas, situações-problema, demonstrações, filmes, leituras introdutórias ou até mesmo uma aula que antecede um conjunto de outras aulas. Existem várias possibilidades, mas a condição é que o organizador prévio seja apresentado antes do material a ser aprendido e que seja mais abrangente, geral e inclusivo do que ele (MOREIRA, 2012).

Classificam-se dois tipos de organizadores prévios: o organizador expositivo e o organizador comparativo. O primeiro é recomendado quando o material de aprendizagem não é familiar. Nesse caso, o organizador expositivo deve fazer a conexão entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber para tornar o material potencialmente significativo, fornecendo uma ancoragem de ideias em termos habituais ao aprendiz. Já o organizador comparativo é recomendado quando o novo material é relativamente familiar. Ele ajuda o aprendiz a integrar novos conhecimentos à sua estrutura cognitiva e, ao mesmo tempo, a distingui-los de outros

conhecimentos já existentes em sua cognição, que são essencialmente diferentes, mas podem ser confundidos (MOREIRA, 2010).

Em suma, os organizadores prévios podem ser utilizados de duas maneiras: para compensar a falta de subsunçores ou para demonstrar as relações e diferenças entre os novos conhecimentos e os subsunçores que já possui na estrutura cognitiva.

1.6.2 Linguagem

Outro recurso fundamental para facilitar a aprendizagem significativa é a linguagem. Essa aprendizagem depende da compreensão de significados, envolvendo uma negociação, uma troca de significados, que é essencialmente mediada pela linguagem. O professor apresenta aos alunos os significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino e que ele domina. O aluno, em contrapartida, deve expressar os significados que está compreendendo ao professor. Se esses significados não corresponderem aos que são tidos como válidos naquele campo, compete ao professor apresentá-los novamente, possivelmente de outra forma, aos alunos. Eles então deverão retorná-los ao docente mais uma vez. Esse processo pode ser extenso e só chega ao fim quando o aluno capta os significados aceitos no contexto daquele saber ensinado. Moreira (2010) destaca que é um equívoco pensar, por exemplo, que a linguagem da Física se resume ao formalismo matemático. A linguagem verbal também é crucial para o ensino e aprendizagem da Física.

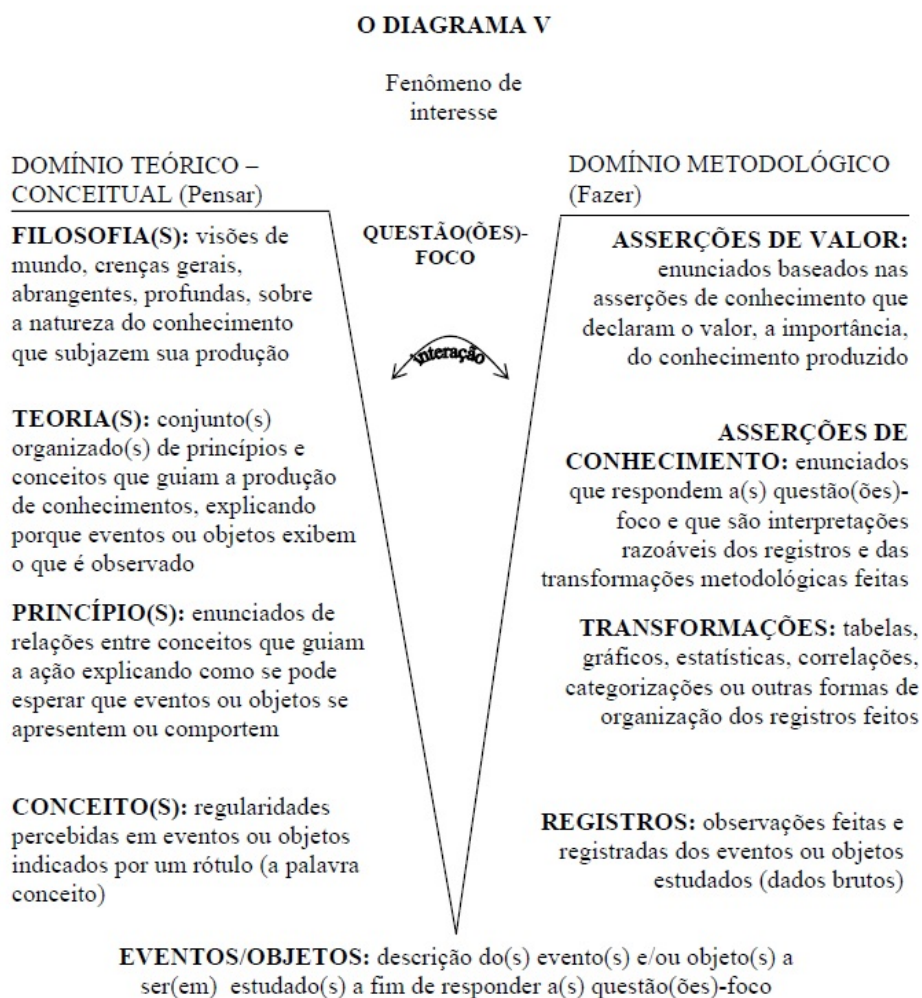
1.6.3 Mapa conceitual

O mapa conceitual é um tipo de diagrama que apresenta uma hierarquia de conceitos e suas relações. Essa hierarquia pode ser representada de forma não necessariamente vertical, de cima para baixo, e as relações entre conceitos são indicadas por linhas que são conectadas por palavras que ajudam a explicitar a natureza da relação entre eles, chamadas de conectores ou conectivos. O objetivo é formar proposições em linguagem sintética a partir de dois conceitos e um conectivo. É importante diferenciá-lo de outros tipos de diagramas, como diagrama de fluxo, quadro sinótico e mapa mental. O mapa conceitual procura refletir a estrutura conceitual do conteúdo que está sendo representado, de forma a perceber que alguns conceitos são mais relevantes, mais abrangentes, mais estruturantes, do que outros (MOREIRA, 2012).

1.6.4 Diagrama V

O Diagrama V, também conhecido como Vê epistemológico, é uma ferramenta criada por D.B. Gowin para auxiliar na compreensão do processo de construção do conhecimento. A questão-chave, ou pergunta básica de um processo de produção de conhecimento, fica no centro do V, enquanto o lado esquerdo representa o domínio conceitual, no qual se inserem conceitos, princípios, teorias e filosofias, e o lado direito representa o domínio metodológico, composto por registros, dados, transformações metodológicas e respostas tentativas à questão-básica. Em resumo, o lado esquerdo do V corresponde ao pensar e o lado direito ao fazer, e a produção de conhecimento resulta da interação entre esses dois domínios. Na ponta do V, encontra-se o objeto de estudo ou evento que é registrado e transformado metodologicamente, gerando asserções de conhecimento (respostas) sobre as quais são feitas asserções de valor (MOREIRA, 2012).

Figura 1.3: Representação esquemática do diagrama V e seus componentes.



Fonte: MOREIRA (2012, p. 3).

1.6.5 Revisão e Atividades Colaborativas

Segundo Pontes Neto (2006), Ausubel considera que a própria definição de aprendizagem significativa inclui a revisão, por parte do aluno. A revisão pode ser considerada uma estratégia de aprendizagem, pois propicia aos alunos condições para alcançar melhores realizações escolares e uma qualidade de aprendizagem mais elevada.

A revisão permite que o aluno aprenda sem a supervisão direta do professor, o que facilita a aprendizagem de várias maneiras. Ela ajuda a focalizar significados antes despercebidos, aumentando a clareza e o índice de discriminabilidade do conteúdo que está sendo aprendido em relação ao conteúdo preexistente relacionado. Além disso, para significados já assimilados, a revisão enriquece a sua estabilidade (consolidação), melhorando a força de dissociação dos mesmos, o que resulta no aumento da retenção e da acessibilidade desses significados (PONTES NETO, 2006).

Além disso, Moreira (2010) aponta que as atividades colaborativas em pequenos grupos, sejam elas realizadas presencialmente ou virtualmente, possuem um grande potencial para facilitar a aprendizagem significativa, uma vez que possibilitam o intercâmbio e a negociação de significados entre os alunos e colocam o professor como mediador do processo.

Algumas estratégias e instrumentos possuem um maior potencial para facilitar a aprendizagem significativa, mas o seu uso em situações de ensino pode não promover essa aprendizagem, dependendo da maneira como são utilizados. Se são empregados em um enfoque comportamentalista baseado em respostas certas ou erradas, essas estratégias, instrumentos, técnicas ou métodos de ensino estimularão a aprendizagem mecânica. Qualquer abordagem que envolva "copiar, memorizar e reproduzir" levará a esse tipo de aprendizagem. É o que ocorreria, por exemplo, se o professor adotasse um mapa conceitual ou diagrama V tidos como corretos, aos quais os alunos deveriam se resignar e memorizar (MOREIRA, 2010).

Capítulo 2

A Lei da Gravitação Universal

Um dos mais antigos problemas da ciência e da filosofia é compreender como funciona o céu. A observação dos corpos celestes é tão antiga quanto a civilização mesma: é possível encontrar registros que vão desde os povos pré-históricos, mesopotâmicos, egípcios, chineses, meso-americanos até os nossos dias. As primeiras culturas, tais como a grega e a romana por meio de suas mitologias, identificaram os astros com deuses e atribuíram-lhes a capacidade de influir sobre a vida dos homens, procurando explicar os fenômenos observados como manifestações divinas (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

Em relação ao estudo do movimento dos corpos celestes, grandes nomes contribuíram com propostas de diferentes modelos do nosso sistema planetário que foram confrontados, discutidos, melhorados e substituídos ao longo do tempo, abrindo caminho para a formulação da Lei da Gravitação Universal. Dentre eles, destacam-se Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu e Newton. Neste capítulo abordaremos então a história da gravitação universal, de forma a descrever a evolução do pensamento científico em termos de física e astronomia, culminando na formulação desta lei.

2.1 Aristóteles e as esferas celestes

De acordo com Ramalho *et al* (2015) as primeiras explicações para os movimentos dos corpos celestes sem recorrer aos mitos nem à religião, se deram na Grécia Antiga. Assim, os filósofos daquele contexto iniciavam o estudo científico dos astros. Segundo Nussenzveig (2013), a maneira mais simples e provavelmente mais antiga de explicar esses movimentos, seria imaginar o céu como uma enorme esfera material à qual os corpos celestes estão presos, e cujo centro seria a Terra, em torno da qual rotacionava uniformemente. Notava-se, no entanto, que alguns pontos brilhantes no céu, aos que denominaram “astros errantes”, não obedeciam esse movimento uniforme e previsível do céu, mas pareciam se mover por conta própria.

A estes “astros errantes”, que atualmente conhecemos como "planetas", deram-se os nomes Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Observou-se então que avançavam durante um tempo no céu, depois se detinham e começavam a retroceder durante certo lapso, até retornar seu movimento adiante. Surgia então a seguinte questão: como se explicava esse

movimento irregular, retrógrado, que todos os planetas realizam? Ademais, notou-se que os planetas mudam de brilho, como se de alguma forma se aproximassem e se distanciassem da Terra, o que não poderia ser possível, já que os pontos de uma esfera estão sempre a uma mesma distância de seu centro. Como poderia se explicar essa mudança de brilho? (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

De acordo com Nussenzveig (2013), no século IV a.C, um dos filósofos mais influentes da Antiguidade, Platão, teria proposto um problema que influenciou fortemente o desenvolvimento futuro das teorias sobre o sistema solar: “Quais são os movimentos uniformes e ordenados cuja existência é preciso supor para explicar os movimentos aparentes dos planetas?”. Para ele, todos os fenômenos celestes deveriam ser explicados a partir de movimentos uniformes e como combinações de círculos e esferas, pois estas formas constituíam indícios da perfeição: é o que se conhecia como o “mandato de Platão”. As coisas deste mundo seriam meras projeções, aparências de uma realidade mais verdadeira e perfeita que se manifestava por meio das formas perfeitas da matemática.

Segundo o autor, com base nesses parâmetros, Eudóxio, discípulo de Platão, e posteriormente Aristóteles, propuseram um modelo mais incrementado para explicar o movimento aparente dos astros. Ao invés de imaginar duas esferas, uma terrestre e a outra celeste que rotacionava a primeira, sugeriam a existência de diversas esferas homocêntricas à Terra e ligadas umas às outras, de tal forma que pudessem girar em torno de eixos com inclinações diferentes, realizando movimentos uniformes de velocidades diferentes, de forma análoga a um giroscópio. Segundo o autor, Eudóxio imaginava as esferas apenas como artefatos matemáticos, diferentemente de Aristóteles que as tinha como objetos materiais reais, e chegou a um sistema de 55 esferas cristalinas, todas movidas pela mais externa, à qual ele chamava de Motor Primário.

É importante ressaltar a física aristotélica, denominada por Cohen (1988) de “A Velha Física” ou “A Física do Senso Comum”. Baseada numa concepção em que a Terra se encontra em repouso, Aristóteles dividia o universo em duas regiões. Uma sublunar, que compreendia a Terra e seu entorno até a esfera que sustentava a Lua, onde era possível a mudança e na qual todos os objetos que encontramos na natureza seriam compostos de quatro elementos: ar, terra, fogo e água. Por outro lado, acima da esfera da Lua, estendia-se a região supralunar em que os corpos celestes seriam constituídos de um quinto elemento: o éter. Estes corpos se moviam de maneira perfeita e eterna através de um movimento natural circular, enquanto o movimento natural de um objeto terrestre seria para cima e para baixo em linha reta. As duas regiões eram feitas de materiais diferentes, regidas por leis diferentes e eram metafisicamente distintas.

Figura 2.1: Representação das regiões supralunar e sublunar segundo Aristóteles.



Fonte: FABRIS (2020, p. 12).

2.2 Cláudio Ptolomeu

Ainda que o sistema das esferas mais ou menos desse conta dos movimentos celestes, ele era bastante impreciso. Ademais, não explicava a mudança de brilho dos planetas, que Aristóteles atribuiu a fenômenos atmosféricos. Se o mecanismo proposto por Aristóteles era impreciso, não o era em comparação, o sistema ptolomaico, que marca o apogeu da astronomia grega. Cláudio Ptolomeu (c.100 - c.170) optou por um caminho diferente do aristotélico para armar uma descrição do mundo. Em sua obra “*Almagesto*”, resolveu de maneira original os dois principais problemas da astronomia planetária (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

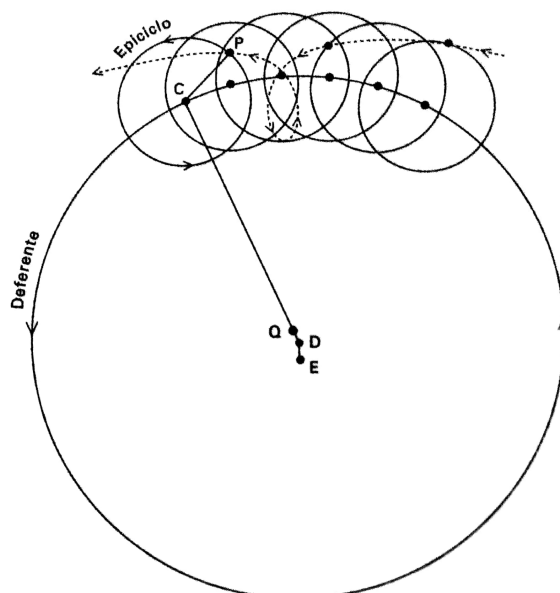
Em primeiro lugar, quanto ao movimento retrógrado, supôs que os planetas se moviam ao redor da Terra encostados a pequenas esferas chamadas Epiciclos, que por sua vez tinham seu centro sobre as esferas principais que chamou de Deferentes. Ao moverem-se essas duas esferas ao mesmo tempo, explicava-se por que se observava que o planeta retrocedia: a combinação desses dois movimentos circulares uniformes acoplados resultava no movimento aparente da órbita do planeta em torno da Terra. (NUSSENZVEIG, 2013).

Nussenzveig (2013) aponta que assim, a combinação de Epiciclo e Deferente conseguia explicar o movimento retrógrado dos planetas no céu, com seus avanços e retrocessos. Ajustando adequadamente o tamanho dos epiciclos ou, se necessário, adicionando epiciclos secundários, ou seja, epiciclos que se movem sobre outros epiciclos, Ptolomeu permitiu

reproduzir com aproximação muito melhor que o sistema de Aristóteles o movimento dos planetas.

A segunda questão era a mudança de brilho dos planetas e o fato de que eram vistos movendo-se com velocidades diferentes, algo que não devia ocorrer se as esferas principais tivessem seu centro na Terra, como no sistema de Aristóteles. A solução que Ptolomeu propôs foi mudar o centro das esferas: ele concebeu um ponto chamado *equante*. Os planetas de seu sistema não tinham como centro geométrico de suas órbitas circulares a Terra, mas sim o Equante, que era um ponto fora da Terra, sob o qual os planetas giravam com velocidade uniforme, conforme a Figura 2.2:

Figura 2.2: Representação do sistema ptolomaico e do movimento retrógrado



E: Terra D: centro geométrico Q: equante C: centro do epiciclo
P: planeta

Fonte: MOLEDO; MAGNANI (2009 p. 22)

Assim o sistema ptolomaico resolvia os complicados aspectos destes problemas astronômicos e respeitava o Mandato de Platão de utilizar somente círculos e esferas para descrever o movimento dos corpos celestes, ainda que a custo de se afundar num complexo mecanismo de engrenagens que acumulava cada vez mais círculos acoplados entre si, segundo fosse necessário. Essa maneira de explicar o funcionamento do céu descrita em sua obra, prevaleceu durante mais de 15 séculos, até a Idade Média (NUSSENZVEIG, 2013).

2.3 Nicolau Copérnico

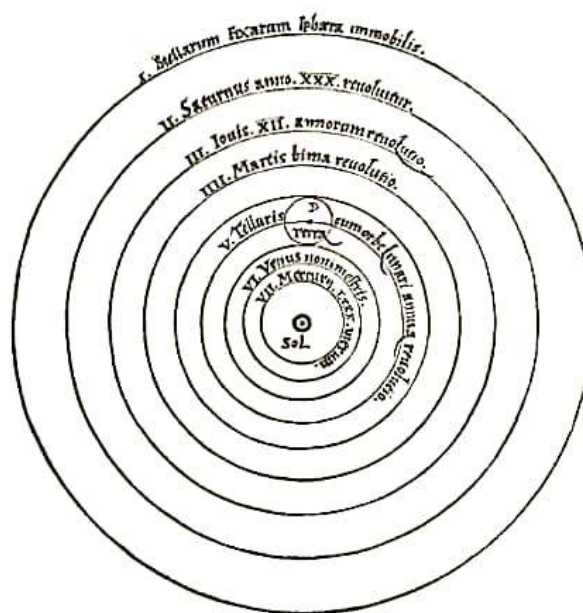
Ao final do século XV e princípios do XVI, a astronomia seguia enredada nos dois grandes sistemas de Aristóteles e de Ptolomeu, entretanto, a falta de precisão percebida no atraso do calendário e a complexidade no caso do sistema ptolomaico deixavam pairando no ar a necessidade de uma reforma da astronomia. Segundo Cohen (1988) havia ainda, outro empecilho no sistema ptolomaico: não coincidia com a física aristotélica vigente. Não se entendia bem como o Primeiro Motor moveria o sistema de engrenagens de Ptolomeu com epiciclos já que na física aristotélica as trajetórias celestiais são realmente materialmente circulares. Ademais, os Equantes eram considerados um absurdo filosófico e metafísico que deixava sem explicar porquê giravam em torno desse ponto específico e, ainda, era incompatível com a ideia aristotélica e mais tarde cristã, de que a Terra ocupava o centro do universo e de que todos os planetas mantinham sempre a mesma distância em relação a ela.

Segundo o autor, o sistema ptolomaico funcionava como um artifício matemático, mas fisicamente despertava muitas dúvidas. Além de ser um sistema que não tinha respaldo na física aristotélica, era também contra intuitivo: não haveria uma maneira mais simples de explicar o movimento dos astros? E é neste ponto que Nicolau Copérnico (1473-1543) revolucionou a astronomia removendo a Terra do centro do mundo e colocando o Sol em seu lugar, construindo uma nova cosmologia. Copérnico atuou em meio a uma grande ebulição de ideias: o mundo renascentista, a Reforma e as grandes viagens que punham em contato culturas diversas. O astrônomo se convenceu de que os problemas e a complexidade do sistema ptolomaico não tinham outra solução a não ser uma mudança radical para uma teoria heliocêntrica.

De acordo com Nussenzveig (2013) em 1543 terminou e deu à imprensa sua grande obra "*Sobre a revolução das esferas celestes*" na qual procurou demonstrar que a principal vantagem do ponto de vista heliocêntrico seria a de simplificar a descrição. Explicava o movimento retrógrado de maneira natural sem usar epiciclos: posto que a Terra e o resto dos planetas se moviam a velocidades diferentes, o movimento retrógrado devia-se ao fato de que às vezes a Terra se adiantava ou atrasava em relação a eles. Também com este sistema, era possível, diferentemente do ptolomaico já que estava baseado em ângulos, calcular as distâncias dos planetas em relação ao Sol em função da distância da Terra-Sol e Copérnico deu uma tabela bastante exata, determinando com boa precisão o tempo necessário para que cada planeta desse uma volta completa.

Moledo e Magnani (2009) afirmam que a façanha de Copérnico não foi somente uma revolução astronômica, mas também filosófica e cultural. Se a Terra não está no centro do mundo, tampouco se entende por que tem de estar no centro da Criação. Copérnico descentra o homem, expõe uma primeira noção de sua pouca importância: uma Terra equivalente ao resto dos planetas é uma Terra muito mais laica.

Figura 2.3: Representação do sistema heliocêntrico de Copérnico



Fonte: <http://centrosciencia.azores.gov.pt/content/nicolau-cop%C3%A9rnico-1473-1543>.
Acesso em: 15 jan. 2023.

Segundo os autores, o livro de Copérnico iniciava uma nova era, mas como em toda revolução que começa, deixava muitas perguntas sem explicar e enigmas sem resolver, como o assunto do movimento no céu, ou seja, a razão pela qual se moviam as esferas e o movimento dos objetos na própria Terra, como o assunto da queda dos corpos nessa nova perspectiva. Com essas dificuldades, o sistema ptolomaico e o copernicano se enfrentaram por mais de um século e foram ensinados como sistemas alternativos. Resolver esses problemas seria a tarefa dos próximos pensadores.

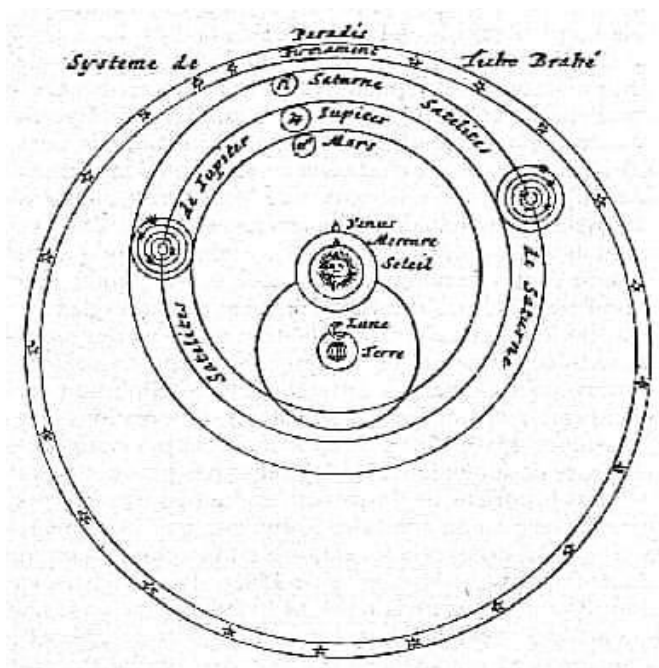
2.4 Tycho Brahe

Conforme os escritos de Cohen (1988), Tycho Brahe (1546-1601) é considerado um dos maiores estudiosos do céu e o principal reformador da observação astronômica, convertendo-se no mais importante dos astrônomos observacionais antes da chegada do telescópio. Montou em Uraniborg um grande observatório, onde se dedicou à coleta de dados sobre o movimento dos planetas e obteve uma precisão ao menos duas vezes superior à das melhores observações da

Antiguidade. Utilizando instrumentos grandes, precisos e bem construídos, conseguiu aumentar a exatidão das determinações das observações a olho nu das posições planetárias e das localizações das estrelas tal forma, que tanto o sistema de Ptolomeu quanto o de Copérnico não explicavam os fenômenos celestes de maneira satisfatória.

Dessa forma, não aceitando o sistema ptolomaico e tampouco o copernicano, já que segundo Moledo e Magnani (2009) para Tycho seria inconcebível que a Terra se movesse, propôs uma solução intermediária, um esquema no qual o Sol e a Lua giravam em torno na Terra, mas o restante dos planetas o fazia ao redor do Sol, com as órbitas dos planetas cruzando-se e atravessando-se todo o tempo. Nussenzveig (2013) entretanto, afirma que Tycho não se deu conta de que seu modelo só diferia do de Copérnico por uma mudança trivial do sistema de referência.

Figura 2.4: Representação do Sistema Tychonico



Fonte: <http://profalexandregangorra.blogspot.com/2012/09/astronomia-as-precisas-medicoes-de.html>.
Acesso em: 15 jan. 2023.

2.5 Johannes Kepler

Tycho Brahe havia acumulado uma quantidade enorme de preciosas e precisas observações, como nunca antes se havia visto até então. Mas ainda, teve o grande mérito de colocá-las em mãos de seu discípulo Johannes Kepler (1571 - 1630) que haveria de pôr ordem e harmonia no sistema solar, abrindo caminho posteriormente para a lei da gravitação. Kepler foi assistente de Tycho Brahe e seu sucessor no observatório. Depois da morte de Tycho, em 1601,

Kepler herdou a maior e mais exata coleção de observações planetárias e dedicou-se a aperfeiçoá-las (COHEN, 1988).

Kepler foi inspirado por uma ideia intrigante no início de sua carreira, procurando encontrar uma explicação geométrica e mística para os raios das órbitas planetárias em termos de figuras perfeitas. Em seu livro "Mysterium Cosmographicum" (1597), ele desenvolveu um modelo que usava os cinco sólidos regulares inscritos e circunscritos em esferas, buscando demonstrar que as proporções resultantes seriam as mesmas que as obtidas por Copérnico para os raios das órbitas planetárias. No entanto, a concordância entre os dados não era das melhores (NUSSENZVEIG, 2013).

Segundo Cohen (1988), em relação ao aperfeiçoamento das observações planetárias, uma das órbitas mais problemáticas era a do planeta Marte. Kepler encarou então a tarefa de determiná-la de maneira exata, a fim de ajustar os dados ao sistema tychoniano. Contudo, após inúmeras tentativas e cálculos, encontrou que as observações que não se encaixavam nem ao sistema de Tycho nem ao de Copérnico. Em relação a este último, a diferença era pouca, de oito minutos de arco, mas Kepler não estava disposto a ignorá-la.

Deu então o imenso passo: pensou que as órbitas talvez não fossem circulares. Era de uma audácia sem precedentes, pois o círculo era a forma perfeita, o símbolo da divindade e a figura ideal para manter em marcha o céu. Tanto Aristóteles quanto Platão insistiam no princípio de que as órbitas planetárias tinham que ser combinadas a partir de círculos, princípio este, que foi obedecido por todos os pensadores anteriores a Kepler. Mas se não era um círculo a forma das órbitas, qual podia ser?

De acordo com Moledo e Magnani (2009), Kepler experimentou com um círculo estirado, ou seja, uma forma oval e conferiu com dificuldade as observações, pois os dados não encaixavam. Posteriormente, supôs que a verdadeira forma estava entre a oval e a circular, algo intermediário entre elas e, finalmente, constatou que correspondia à curva de uma elipse: ao substituir as formas ovais por elipses os dados se encaixaram.

Assim, em 1609 publicou sua obra prima "*Astronomia Nova*", onde enuncia sua primeira lei, conhecida como lei das órbitas, que substitui as órbitas circulares por órbitas elípticas: "As órbitas descritas pelos planetas em redor do Sol são elipses com o Sol num dos focos." (NUSSENZVEIG 2013, p. 240). Era o fim do mandato de Platão: já não era necessário recorrer a epiciclos e outros artefatos antiquados para encaixar à força em círculos órbitas que na realidade eram elípticas. A segunda, também enunciada nesta obra, é batizada como lei das áreas e estabelece que "O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais." (NUSSENZVEIG 2013, p. 241).

Utilizando como referência o livro didático de Ramalho *et al* (2016), matematicamente, podemos traduzir esta lei da seguinte maneira:

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2} = \frac{A_3}{\Delta t_3} = \dots = k \quad (2.1)$$

em que A corresponde à área varrida durante um período de tempo Δt , e k é uma constante de proporcionalidade que depende do planeta e é denominada “velocidade areolar” do planeta. É possível escrever também:

$$A = k \Delta t \quad (2.2)$$

Por fim, sua terceira lei, chamada de lei dos períodos, foi enunciada apenas em 1619 na sua obra “*Harmonices Mundi*” relacionando as distâncias com os tempos de revolução: “os quadrados dos tempos de revolução de quaisquer dois planetas ao redor do Sol, são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias ao Sol” (COHEN 1988, p. 241).

Matematicamente, podemos dizer que:

$$T^2 = Kr^3 \quad (2.3)$$

em que T é o período de revolução do planeta em anos, r é a distância média do planeta ao Sol em unidades astronômicas e K é uma constante que depende da massa do Sol. Podemos escrever ainda:

$$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} = \frac{r_3^3}{T_3^2} = \dots = K \quad (2.4)$$

Dessa forma, as três leis de Kepler completam o sistema de Copérnico enunciado anteriormente e o dotam de elegância e simplicidade.

2.6 Galileu Galilei

De acordo com Nussenzeig (2013), após a invenção do telescópio alguns destes instrumentos foram levados para a Itália. Assim, o momento decisivo da vida do grande astrônomo Galileu Galilei (1564 - 1642) chegou quando ouviu falar destas lentes flamencas que permitiam aumentar o tamanho das imagens. Com uma descrição modesta e após muita tentativa e erro, pôde armar uma versão aperfeiçoada do telescópio que ampliava a área dos objetos por um fator da ordem de 1000, reduzindo sua distância aparente por um fator da ordem de 30, e foi o primeiro a apontar o instrumento para o céu.

A partir dessas observações que realizou com o telescópio, em 1609, ele viu o que ninguém havia visto até então, uma série de descobertas que marcavam um dos grandes momentos da história da ciência. Segundo Penereiro (2009), Galileu observou que a Lua

possuía irregularidades, montanhas elevadas e vales profundos, evidenciando uma constituição similar à da Terra, diferente do pensamento aristotélico de que seria uma esfera perfeita. Notou também que havia um imenso número de estrelas que apareciam ao seu telescópio e não podiam ser vistas a olho nu. Descobriu assim, que a Via Láctea, percebida até então como uma “nebulosidade esbranquiçada”, era constituída por uma infinidade de estrelas. Galileu notou que mesmo através do telescópio as estrelas continuavam aparecendo como pontos de luz, sugerindo que elas estavam a enormes distâncias da Terra, o que explicava por que os astrônomos não conseguiam detectar a paralaxe das estrelas, que seria esperada estando a Terra em movimento.

Ao estudar Júpiter, observou quatro pontos brilhantes alinhados com o planeta, e concluiu que se tratava de quatro satélites de Júpiter, corpos celestes que orbitavam um outro planeta que não a Terra, o que contradizia o sistema geocêntrico. Observando Vênus, constatou que o planeta passa por um ciclo de fases, tal como a nossa Lua, apresentando-se ora como um círculo, ora como semicírculo, minguante, etc. A descoberta das fases de Vênus representou um dos argumentos mais importantes a favor da teoria copernicana, pois provou que Vênus não poderia estar sempre entre a Terra e o Sol, como sugerido pelo modelo ptolomaico. Galileu acreditava que eles representavam a prova de que Vênus orbitava o Sol, além de provar que os planetas eram corpos naturalmente opacos e que brilhavam refletindo a luz do Sol (PENNEREIRO, 2009).

Observando Saturno, Galileu notou a existência de algo que não pôde discriminar. Somente em 1656 Christian Huygens explicou que eram os anéis. Ainda, Galileu começou suas observações do Sol por projeção, notando a existência de regiões escuras que pareciam se mover em sua superfície. Concluiu que as manchas pertencem à superfície do Sol e que este gira em torno de seu eixo em aproximadamente 28 dias. Dessa forma, a doutrina aristotélica era mais uma vez refutada, dado que um corpo celeste está sujeito a mudanças, como verificado no aparecimento e desaparecimento das manchas solares (PENNEREIRO, 2009).

As consequências dessas observações foram significativas. A semelhança da Lua com a Terra, por exemplo, destruiu a ideia de que os corpos celestes eram compostos do éter, o elemento perfeito. Além disso, a descoberta dos quatro satélites de Júpiter representou um golpe fatal para os oponentes do sistema copernicano, pois uma das objeções metafísicas era que não se compreendia porquê a Lua era a única exceção solitária a orbitar a Terra. No entanto, a existência dos satélites de Júpiter mostrou que orbitar outro astro era um fenômeno geral (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

Em 1610, Galileu publicou suas observações em sua obra intitulada "*Sidereus Nuncius*" ou "O Mensageiro das Estrelas". Essas observações causaram grande comoção e controvérsia entre seus contemporâneos. Alguns questionaram a validade das observações, enquanto outros se recusaram a olhar pelo telescópio para verificá-las. Com as evidências que lhe permitia o telescópio, a Inquisição declarou herética a posição que colocava o Sol no centro do sistema e proibiu Galileu de ensinar ou defender suas teorias. Esse episódio culminou em um vergonhoso julgamento em 1633, no qual Galileu foi forçado a retratar-se e condenado à prisão domiciliar pelo resto de sua vida (COHEN, 1988).

Cohen (1988) ainda destaca que Galileu concentrou seus estudos no movimento da Terra, desafiando a Velha Física de Aristóteles, que estabelecia uma distinção entre o movimento e o repouso, considerando o movimento como algo absoluto. Galileu rejeitou essa ideia e afirmou que o movimento não é absoluto, mas sim uma relação entre os objetos em movimento e aqueles que estão em repouso. Para Galileu, o que está em repouso para uma pessoa pode estar em movimento para outra observadora. Ele argumentou que o movimento é indistinguível do repouso.

Enquanto Aristóteles acreditava que o movimento era um processo transitório, Galileu argumentou o contrário. Ele rejeitou a ideia de que um objeto se movimentava à medida que um motor exerce influência sobre ele. Em vez disso, Galileu sustentou que o movimento uniforme, que ocorre em linha reta e com velocidade constante, não requer um motor. De acordo com sua teoria, um objeto que se move com movimento uniforme em linha reta continuará nesse estado indefinidamente, sem sofrer modificações (COHEN, 1988).

De acordo com o autor, também se ocupou da “queda dos graves” e o resolveu. Enquanto Aristóteles argumentava que a queda dos corpos, que entendia como um movimento natural, se devia ao fato de eles estarem buscando seu lugar preestabelecido, Galileu refutou essa ideia. Ele demonstrou, e daí a famosa e provavelmente errônea história da Torre de Pisa, que na ausência de atrito com o ar, todos os corpos caem da mesma forma e com a mesma aceleração, independentemente do peso, e enunciou a lei geral da queda dos corpos, que afirma que a distância percorrida D é proporcional ao quadrado do tempo t transcorrido. Sendo g a aceleração da gravidade, tem-se matematicamente:

$$D = \frac{gt^2}{2} \quad (2.5)$$

Galileu não se pronunciou sobre as causas da queda. Não abandonou de todo a ideia dos lugares naturais, ainda que tenha chegado a pensar em uma força que puxava a partir da Terra em direção aos corpos e os acelerava (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

2.7 Isaac Newton

Isaac Newton (1643-1727), ingressou no Trinity College de Cambridge em 1661, onde estudou a filosofia de Descartes, Gassendi, More, Hobbes e Boyle, bem como a geometria de Euclides. Também se dedicou ao estudo da astronomia copernicana, da mecânica de Galileu e da obra de Kepler. Em 1665, Newton obteve seu primeiro grau acadêmico, entretanto pouco tempo depois, a epidemia de peste bubônica assolou a região, forçando-o a voltar para casa. Diz-se então que naquele período teria ocorrido a anedota da maçã, amplamente divulgada em livros didáticos de física:

“Um dia Newton estava sentado sob uma macieira em um jardim. Ele viu uma maçã caindo de uma árvore. Veio à sua mente um pensamento de que devia haver alguma razão para a maçã cair no chão e não ir para cima. Assim ele chegou à conclusão de que existe uma força exercida pela TERRA que puxa (atrai) todos os objetos para baixo em sua direção. Depois ele deu a essa força o nome de força da gravidade.” (Commonwealth Secretariat 1996, p. 26. apud MARTINS 2006, p.168).

Segundo Martins (2006) a história da maçã teria sido contada primeiramente por Voltaire, que soubera dela pela sobrinha de Newton. Mas se é desejável transmitir o saber científico de maneira correta, com uma transposição adequada para as próximas gerações, especialmente em sala de aula, cabe questionar a veracidade dessa história. Segundo o autor, não há registros escritos de Newton que a comprovem, no entanto, sabe-se que descreveu esse episódio para algumas pessoas quando já era idoso. Seria plausível que Newton tenha contado a mesma versão para todos os seus conhecidos, mas cada um deles entendeu a história de um modo diferente, de acordo com sua própria capacidade de compreensão. Posteriormente, a história da maçã foi sofrendo acréscimos e distorções.

Dessa forma, a lenda dá a entender que Newton teria descoberto e conceituado a gravidade, quando na realidade essa ideia já era discutida muito antes dele. A palavra “gravidade” era utilizada para descrever o fenômeno da queda dos corpos pesados ou graves, no entanto ela não representava uma explicação da queda, mas era entendida como uma propriedade dos corpos pesados, aquilo que faz com que eles caiam ou empurrem para baixo: “no século XVII, dizer que os corpos pesados (“graves”) caem por causa da gravidade seria como dizer que a aspereza é a causa pela qual certos corpos são ásperos” (MARTINS 2006, p.171).

Qual seria então a “virada de chave” de Newton no que diz respeito ao movimento dos corpos, se não foi ele quem inventou a gravidade? Uma de suas primeiras hipóteses era de que a gravidade fosse gerada por um tipo de corrente de éter que viesse do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo. Portanto, ele havia

formulado uma tentativa de explicação para a gravidade, mas essa explicação foi elaborada antes do episódio da queda da maçã. A perspicácia de Newton foi uma mudança de concepção quando especulou que o poder da gravidade (que fez uma maçã cair da árvore) não estava limitado a uma certa distância da Terra. Em outras palavras, Newton, assim como muitos outros, inicialmente associou a queda da maçã à gravidade, no entanto, começou a pensar que a gravidade existia não apenas perto da Terra, mas também a grandes distâncias, talvez até à Lua. (MARTINS, 2006).

Para Martins (2006) essa é exatamente a nossa concepção atual, mas não foi algo tão evidente no passado. Pensadores anteriores a Newton não haviam chegado a essa ideia: Galileu não relacionou o movimento dos objetos terrestres ao dos astros. Para ele, o movimento dos astros era natural em círculos, conforme Aristóteles. Portanto, não era necessário introduzir forças para explicar por que os corpos celestes se mantinham em suas órbitas. Para Newton, se não houvesse nenhuma força atuando sobre a Lua, ela se moveria em linha reta e se afastaria da Terra. Como ela não se afasta, isso indica que há uma força atuando sobre ela, mantendo-a presa à Terra. Teria sido então, naquela ocasião, na fazenda de Woolsthorpe, que Newton percebeu essa ideia.

Essa concepção, reflete um dos principais axiomas ou leis do movimento, apresentados por Newton em sua mais importante obra chamada “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, ou “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicada em 1687. Importante dizer que os *Principia* iniciam-se com oito definições antes de chegar aos três axiomas, ou aquilo, que se chamou mais tarde de as *três leis Newton*. A primeira, que conhecemos como Lei da Inércia, já havia sido apresentada de maneira similar por Galileu (mas que erra numa formulação final, ao imaginar uma espécie de “inércia circular” e não em linha reta) e por Descartes: daí outro engano comum, o de pensar que esta ideia era original de Newton. São descritas por Newton, as leis do movimento da seguinte forma:

“Lei I

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele. [...]

Lei II

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

Lei III

A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.” (NEWTON, 2016, p.53)

Com estas três ferramentas, Newton demonstra, entre outras coisas, a lei kepleriana das áreas como um teorema e, inversamente, demonstra também que um corpo que segue as leis de Kepler se move segundo uma força central inversamente proporcional ao quadrado da distância. Em seus dois primeiros livros, ele estabelece a cinemática e a dinâmica em bases sólidas, como um prelúdio para o terceiro livro, o "Sistema do Mundo Matematicamente Tratado", onde enuncia sua lei da gravitação universal (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

A reformulação de Newton parte do princípio da inércia: se nada agisse sobre a Lua, ela se moveria em linha reta, o que não ocorre. Há, portanto, algo que a desvia da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra, poderia ser a mesma gravidade que faz com que as maçãs caiam. Ele buscou verificar, por meio de cálculos, se o movimento da Lua poderia ser explicado pela gravidade terrestre, assumindo que a gravidade é muito mais fraca na altura em que a Lua se encontra. Newton já havia desenvolvido uma hipótese sobre a gravidade, na qual afirmava que ela deveria ser mais forte perto da Terra do que longe de sua superfície. Mais precisamente, a gravidade devia ser inversamente proporcional ao quadrado da distância ao centro da Terra (MARTINS, 2006).

Com o objetivo de pôr à prova se a gravidade seguia essa proporção, Newton comparou a queda dos corpos próximos ao solo com o movimento da Lua. Segundo Martins (2006), pode-se dizer que ele notou que a Lua estava caindo em direção à Terra e comparou sua queda com a queda dos corpos próximos à superfície terrestre. Newton conseguiu provar que a queda da Lua era proporcional ao quadrado do tempo, para pequenos tempos, seguindo, portanto, a mesma propriedade da queda dos corpos perto da superfície da Terra. Assim, a queda da Lua concordava com a queda dos corpos próximos à Terra e ambos os fenômenos podiam ser explicados pela gravidade, assumindo que esta varia com o inverso do quadrado da distância.

Conforme a descrição de Cohen (1988), considerando um corpo de massa m e velocidade v , movendo-se ao longo de um círculo de raio r , segundo a primeira e a segunda lei de Newton, deve haver uma aceleração central de valor $\frac{v^2}{r}$. Assim,

$$F = ma = m \frac{v^2}{r} \quad (2.6)$$

Se T é o período, ou seja, o tempo que o planeta leva para descrever um arco de 360° , durante esse tempo T percorre uma vez a circunferência de raio r e comprimento $2\pi r$. Portanto a velocidade v é $2\pi r/T$, e:

$$\begin{aligned} F &= ma = mv^2 \times \frac{1}{r} = m \left[\frac{2\pi r}{T} \right]^2 \times \frac{1}{r} = m \times \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \times \frac{1}{r} \\ &= m \times \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \times \frac{1}{r} \times \frac{r}{r} = \frac{4\pi^2 m \times r^3}{T^2 \times r^2} \end{aligned}$$

$$F = \frac{4\pi^2 m}{r^2} \times \frac{r^3}{T^2} \quad (2.7)$$

Pela terceira lei de Kepler, temos

$$\frac{r^3}{T^2} = C = \text{constante} \quad (2.8)$$

em que, C tem o mesmo valor para todos os planetas. Logo, podemos reescrever a equação (2.7) como:

$$F = \frac{4\pi^2 m}{r^2} \times C = 4\pi^2 C \frac{m}{r^2} \quad (2.9)$$

em que, m é a massa do planeta, r é a distância média do planeta ao Sol, C é a “constante de Kepler” e F a força com que o Sol atrai o planeta e o afasta constantemente de sua trajetória puramente inercial, para uma elipse. Podemos reescrever a equação da forma:

$$F = \left[\frac{4\pi^2 C}{M_s} \right] \frac{M_s m}{D^2} \quad (2.10)$$

em que M_s é a massa do Sol, e podemos dizer que

$$G = \frac{4\pi^2 C}{M_s} \quad (2.11)$$

é uma constante de proporcionalidade universal chamada “constante de gravitação universal” e que a lei

$$F = G \frac{M_s m}{r^2} \quad (2.12)$$

não tem sua ação limitada à ação entre o Sol e um planeta, mas se aplica a cada par de objetos no universo de massas quaisquer M e m , e r sendo a distância entre eles:

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.13)$$

Dessa forma, Newton aplicou a mesma ideia ao movimento dos planetas e pôde concluir que a lei vale para todos os corpos do universo e dois corpos quaisquer se atraem com uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa. Ele entendeu que a mesma força, a gravidade, que explica a queda dos corpos na Terra é a que explica o movimento dos astros. Não há uma força especial para os astros: as leis que regem o movimento dos corpos sobre a Terra são as mesmas que regem o movimento dos astros. De um só golpe, Newton unifica a física do mundo ao estabelecer que dois fenômenos, que até então não tinham relação alguma, respondem a uma só e idêntica causa (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

O espaço absoluto, infinito, vazio, geométrico e euclidiano sobre o qual flui o tempo contínuo e matemático, o mecanismo governado por leis matemáticas se impôs como visão do cosmo e assim permaneceu durante mais de dois séculos, até cair nas mãos de Einstein, que o curvou e retorceu, dando passagem a um mundo novo (MOLEDO; MAGNANI, 2009).

Capítulo 3

Sequência Didática aplicada ao ensino da Gravitação Universal

Até o momento foram apresentados os pilares da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e foram trilhados, por meio de uma abordagem histórica, os caminhos que levaram Newton à formulação da Lei da Gravitação Universal. Dessa forma, cabe agora unir as duas fundamentações explanadas para elaborar uma sequência didática sobre a temática da gravitação universal na perspectiva da aprendizagem significativa como alternativa ao tipo de aula do ensino tradicional, falido, como aponta Neves e Savi (2000) que insiste com métodos manualísticos, livrescos, memorizativos e matematizáveis para o ensino de Física: justamente as características do que Ausubel chamou de aprendizagem mecânica.

3.1 Conteúdo programático segundo a BNCC e o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná

A organização dos conteúdos a serem trabalhados na sequência didática será fundamentada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e no Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná.

A BNCC é um documento elaborado pelo Ministério da Educação que define os objetivos de aprendizagem e desenvolvimento que todos os alunos brasileiros devem alcançar em cada etapa da educação básica, ou seja, da Educação Infantil ao Ensino Médio. Já o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná é um documento que se baseia na BNCC, porém é adaptado especificamente para o estado do Paraná. Ele foi elaborado a partir das orientações da BNCC, mas leva em conta as particularidades regionais, culturais e históricas do estado. O objetivo é orientar as escolas paranaenses na elaboração de seus projetos pedagógicos, definindo os objetivos de aprendizagem e desenvolvimento que os alunos devem alcançar durante a etapa do Ensino Médio, bem como as competências e habilidades que devem ser desenvolvidas em cada disciplina.

O tópico “gravitação universal” se enquadra na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, dentro da temática “Vida, Terra e Cosmos”. A competência correspondente a esse tópico é a Competência Específica 2, que é: “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica

da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.” (BRASIL, 2017, p.556). Para esta competência, no que tange a gravitação universal, três habilidades são requeridas, a (EM13CNT201), (EM13CNT204) e (EM13CNT209):

“(EM13CNT201): Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente. [...]

(EM13CNT204): Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros). [...]

(EM13CNT209): Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).” (BRASIL, 2017, p.557)

A estas habilidades, o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná atribui os seguintes objetos de conhecimento na Física, respectivamente:

“(EM13CNT201): Discussão sobre a evolução dos modelos propostos sobre o universo e os movimentos planetários, da astronomia clássica à cosmologia, considerando as contribuições da teoria da relatividade geral. [...]

(EM13CNT204): Dinâmica dos movimentos planetários propostos por Kepler e a gravitação universal, responsável pelo movimento orbital, como força de interação entre os planetas. [...]

(EM13CNT209): Origem e evolução do universo, das estrelas e dos corpos celestes. Discussão sobre a existência de outros sistemas planetários e outras galáxias.” (PARANÁ, 2021, p. 396-399)

Assim, a sequência didática abordará os objetos de conhecimento correspondentes às habilidades anteriormente apontadas e à sua competência específica, possuindo respaldo na BNCC e no Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná.

3.2 Proposta da Sequência Didática

Propõe-se a seguir onze aulas para abordar o tópico “Gravitação Universal”, com duração de 45 a 50 minutos cada uma.

3.2.1 Primeira Aula

Nesta primeira aula é fundamental despertar o interesse e curiosidade dos alunos a respeito do tema a ser ensinado no decorrer das próximas aulas. O professor pode dar abertura à aula perguntando aos alunos se eles gostam de observar o céu (especialmente o céu noturno), as

estrelas, planetas, a Lua, etc. Em seguida, se eles já pararam para pensar sobre como funciona o movimento dos astros. Nesse contexto, é válido destacar para a turma que ao final da sequência didática implementada, eles possuirão conhecimentos e serão capazes de descrever fenômenos sobre o céu que nem mesmo grandes físicos como Ptolomeu, Kepler e Galileu tiveram nem foram capazes de explicar, ou ao menos não com tanta precisão quanto eles poderão. Assim, o professor poderá introduzir que o tema em questão se trata da Gravitação Universal, uma das quatro forças de interação fundamentais da natureza.

Esta aula inaugural tem como objetivo investigar informações sobre os conhecimentos prévios que os alunos possam ter sobre gravitação universal. Para isso, o professor irá propor a criação de um mapa conceitual sobre a seguinte pergunta: “O que é a gravitação e como ela afeta o universo?”. Para realizar essa atividade, recomenda-se que o professor utilize em um computador o software gratuito “CmapTools”, desenvolvido justamente para a autoria de mapas conceituais, e utilize um projetor para que os alunos possam visualizar e acompanhar a criação do mapa. Num primeiro momento é válido explicar o funcionamento de um mapa conceitual aos alunos para uma melhor dinâmica da atividade.

Com o intuito de envolver a participação em grande grupo de toda a turma, o professor escreverá e fará a pergunta aos alunos, que por sua vez irão respondendo a ela. O professor irá escrever na tela as palavras que eles irão dizendo, posteriormente assinalar as que eles acreditam serem mais importantes e em seguida relacioná-las entre si, colocando-as em um diagrama hierárquico (mapa conceitual). Finalmente, o professor deverá pedir a cada aluno que explique, por escrito e com suas próprias palavras, o mapa construído grupalmente. Essa explicação deverá ser entregue ao professor ao final desta atividade inicial, que ocupará a primeira aula da sequência didática.

3.2.2 Segunda e Terceira Aulas

Estas aulas terão como motivação apresentar e discutir a evolução dos modelos propostos sobre o universo e os movimentos planetários, por meio de uma abordagem histórica. Inicialmente, propõe-se uma discussão de algumas situações-problema a nível introdutório para instigar os alunos a pensar sobre assuntos que foram questionados ao longo da história da gravitação. Essa discussão deverá ser feita em grande grupo com a participação de toda a turma e a mediação do professor:

- a) Por que quando soltamos qualquer objeto ele cai no chão?
- b) Dois corpos de mesmo formato e tamanho mas com massas diferentes são abandonados da mesma altura. Qual deles atingirá o chão primeiro?

- c) Por que ao olhar para o céu observamos que o Sol muda de posição ao longo do dia? (“Nasce no leste e se põe no oeste”)
- d) O que você acha que seja responsável pela rotação da Lua em torno da Terra?

Estas perguntas devem ser conduzidas pelo professor levando em consideração os conhecimentos prévios iniciais que os alunos demonstraram na aula anterior. Após a discussão e apresentação das novas ideias que os alunos expuseram, o professor retornará com uma apresentação de slides, nos quais abordará sobre o início da história da gravitação universal. Eles devem demonstrar os caminhos trilhados por Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico, Brahe, Galileu e Kepler evidenciando os argumentos que os levaram a propor os modelos para explicar o movimento dos corpos celestes, bem como os problemas e limitações enfrentados por cada um. Assim, deve-se tratar sobre o sistema geocêntrico, as esferas celestes, epiciclos e deferentes, o sistema heliocêntrico, o modelo tychonico. Sobre Galileu, é recomendado falar da importância de suas observações no telescópio e o que elas implicavam, e sobre sua explicação para a queda dos corpos terrestres. Sobre Kepler, nesta aula somente comentar sua relação com Tycho Brahe e seu modelo cosmológico dos sólidos geométricos. Os slides devem conter também grande quantidade de imagens como recurso visual, para facilitar o entendimento de cada modelo proposto.

Ao longo da apresentação o professor pode relacionar as perguntas feitas inicialmente com o pensamento que os cientistas tinham em sua época. Por exemplo, Aristóteles acreditava que os corpos na Terra caem porque é seu movimento natural e os corpos mais pesados chegariam ao chão antes que os mais leves, já Galileu refutou essa ideia. Nos sistemas geocêntricos de Aristóteles, Ptolomeu e Brahe a mudança aparente do Sol seria porque o mesmo giraria em torno da Terra todos os dias, já o sistema heliocêntrico de Copérnico coloca a Terra girando em torno do Sol e argumenta esse fenômeno com o outro movimento que a Terra faz, o de rotação em torno de si mesma. O movimento da Lua em torno da Terra e dos outros corpos celestes era explicado por muito tempo com as esferas celestes, e hoje nós sabemos que elas não existem. Assim, o docente pode apontar que várias possíveis explicações que os alunos deram para aquelas questões, também foram pensadas pelos cientistas no passado. É importante que o professor esteja aberto a ouvir e responder os comentários dos alunos que irão surgindo durante a exposição, para que a aula seja dialógica e não monológica, proporcionando uma troca de ideias, debates e discussões.

Para encerrar, é possível fazer um pequeno debate sobre a Ciência ser eterna e absoluta ou não para relacionar que assim como no passado alguns modelos serviram para explicar um determinado assunto, como os movimentos planetários, outras teorias atualmente aceitas,

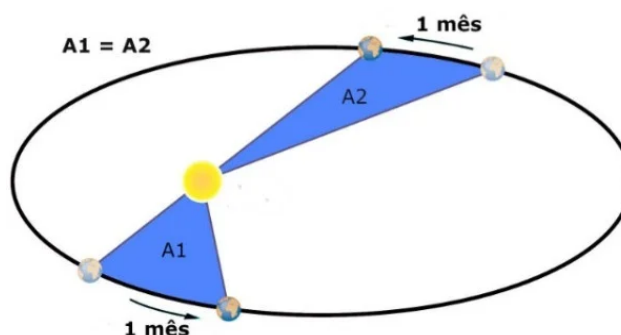
podem não ser mais suficientes no futuro para procurar explicar certos fenômenos. Dessa forma, o professor pode mediar a discussão ajudando-os a entender que a ciência não é produto de inspirações divinas que gênios isolados tiveram ao longo da história, mas que é construída, discutida, posta à prova e desenvolvida por incontáveis pensadores ao longo do tempo, mudando com o contexto histórico, social, econômico e cultural da época. Os alunos poderão fazer em casa um mapa mental sintetizando o que foi discutido nesta aula, sendo entregue ao professor na aula seguinte.

3.2.3 Quarta e Quinta Aulas

Estas aulas terão como objetivo introduzir as leis de Kepler. Considerando que um conhecimento prévio importante para que os alunos possam compreender e atribuir significado às três leis seja o conceito de “elipse”, será realizada uma atividade colaborativa em pequenos grupos para construir duas elipses de diferentes excentricidades (ver Apêndice A). A partir da atividade, o professor poderá explicar os elementos de uma elipse. Assim, os alunos serão capazes de localizar os focos F_1 e F_2 da elipse, e entender que no círculo, na verdade, os focos estão no mesmo ponto, o centro. Ademais, poderão compreender que a soma das distâncias das retas que ligam um ponto P da elipse aos focos F_1 e F_2 é a mesma para qualquer ponto da elipse.

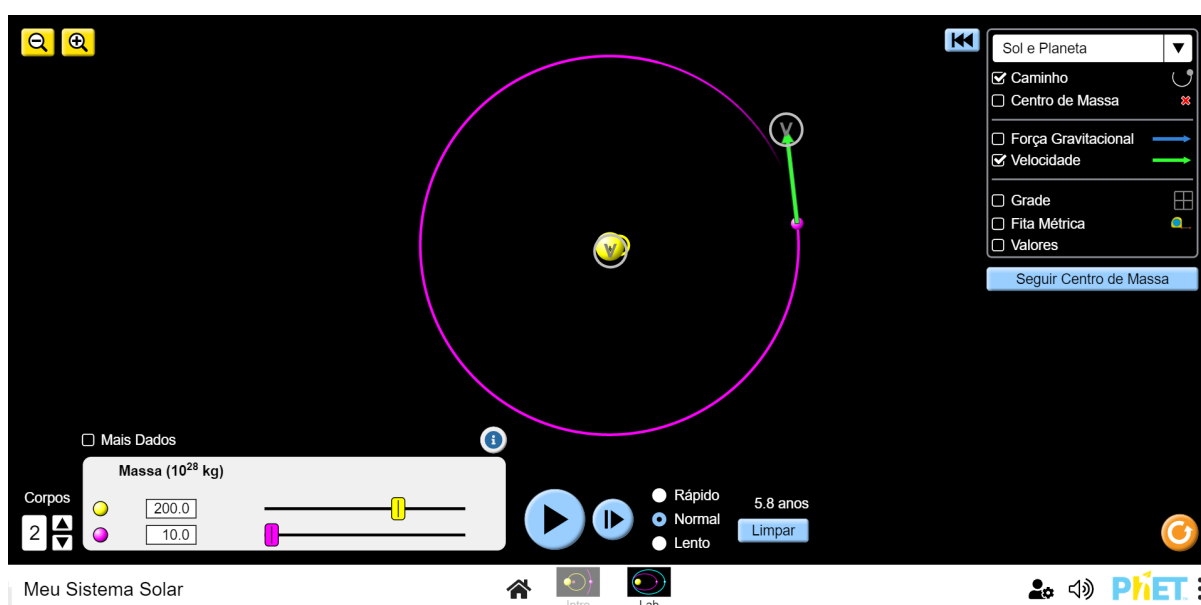
Após a realização desta atividade como organizador prévio, será possível fazer uma breve retomada histórica em sintonia com as aulas anteriores, apontando o contexto em que Kepler desenvolveu essas três leis: a partir do estudo da órbita de Marte, como explica a seção 2.5. Assim, o professor pode utilizar o quadro negro para enunciar as três leis de forma escrita e matemática, de acordo com as equações 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4. Como sugestão para facilitar a compreensão da segunda lei, sugere-se que os alunos desenhem nas elipses que construíram uma imagem semelhante à Figura 3.1 como exemplo para compreender que se trata de percorrer áreas iguais em tempos iguais:

Figura 3.1: Representação da segunda lei de Kepler para $\Delta t = 1$ mês



Como forma de aprofundar a compreensão das três leis de Kepler, o professor poderá realizar duas simulações através do Phet Colorado (2019), no laboratório virtual “Meu Sistema Solar”. Na primeira, conforme a Figura 3.2, acessará inicialmente as configurações “Sol e Planeta”, “Caminho” e “Velocidade” para mostrar que numa trajetória circular, a velocidade linear do planeta seria sempre constante, como se pensou ao longo da história por muito tempo até Kepler. Em caso de dúvida, vale a pena revisar brevemente o conceito de vetor, apontando que o módulo do vetor representado é sempre o mesmo, por isso o valor da velocidade não muda, mas sim sua direção e sentido.

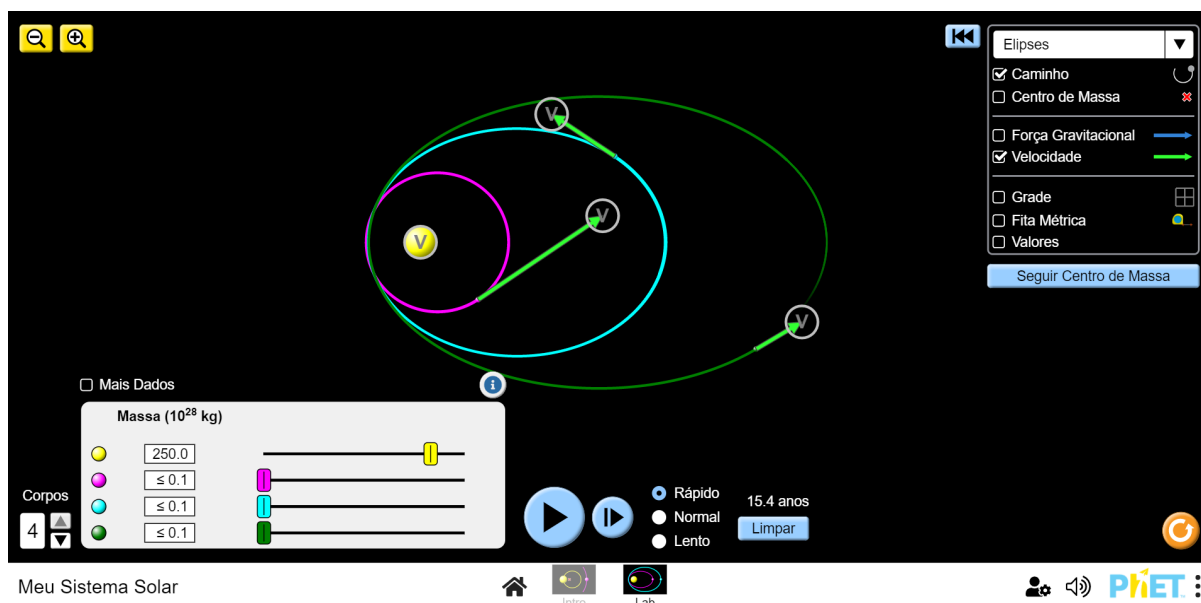
Figura 3.2: Simulação de trajetória orbital circular e velocidade constante.



Fonte: PHET COLORADO (2019).

Posteriormente, o professor pode acessar as configurações “Elipses”, “Caminho” e “Velocidade”, conforme ilustra a Figura 3.3 para mostrar que a velocidade linear dos planetas varia numa trajetória elíptica, aumentando conforme se aproxima do Sol e diminuindo ao se afastar dele. É possível aproveitar para relembrar o conceito de “afélio” e “periélio”.

Figura 3.3: Simulação de órbitas elípticas e da velocidade linear dos planetas.



Fonte: PHET COLORADO (2019).

Para encerrar a aula, o professor pode propor aos alunos responder ao questionário presente no Apêndice B, que deverá ser entregue até a próxima aula.

3.2.4 Sexta e Sétima Aulas

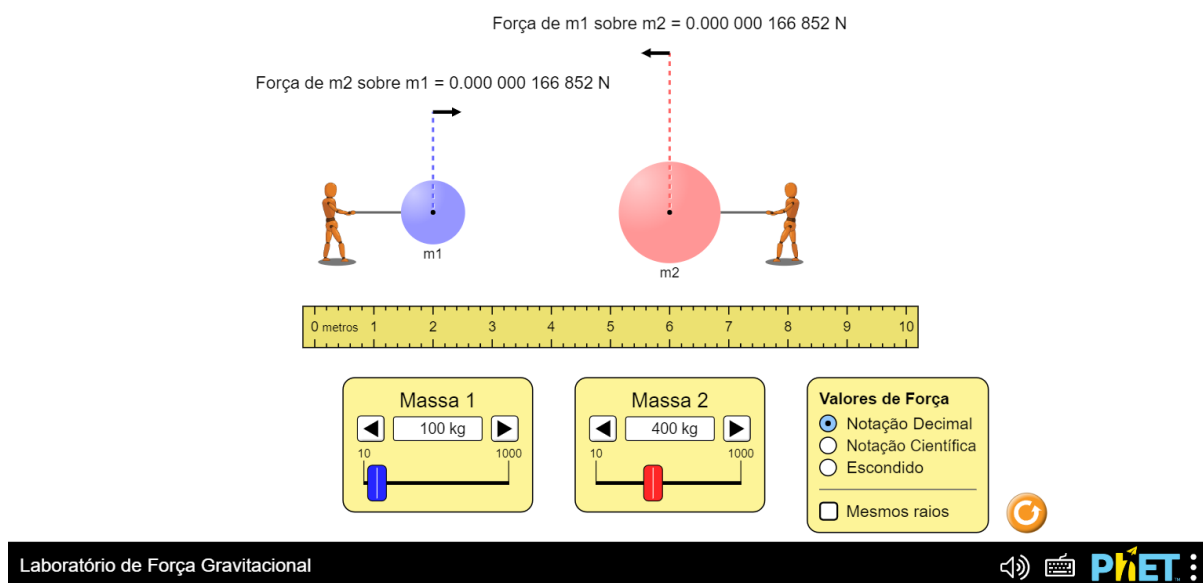
Estas aulas terão como objetivo tratar da lei da gravitação universal. Inicialmente será feita uma abordagem histórica em sintonia com os conhecimentos prévios que os alunos adquiriram das aulas anteriores. Para isso, o professor pode iniciar retomando a situação-problema feita em 3.3.2: dois corpos de mesmas dimensões mas com massas diferentes são abandonados da mesma altura. Qual deles deverá atingir o solo primeiro? A partir das respostas dos alunos, o professor pode relembrar a ideia de movimento aristotélica e a de Galileu, que a refutou, e explicar que a palavra “gravidade” já existia desde então, mas era vista como uma propriedade dos corpos graves, e não como a causa da queda dos corpos. Enquanto isso, o movimento dos astros era explicado por leis diferentes que o movimento dos corpos na Terra, que não tinham relação nenhuma na concepção da época. E é nesse contexto que entra Newton, com a lei da gravitação universal.

O professor pode perguntar então se os alunos já ouviram falar da história da maçã, e provavelmente eles terão ouvido alguma vez. Para ressignificar esse conhecimento prévio, que não expressa o saber científico, o professor deverá explicar como realmente Newton chegou à lei da gravitação, conforme foi abordado em 2.7. A partir de um diálogo entre alunos e professor, espera-se que eles compreendam que a grande contribuição de Newton não foi

descobrir a gravidade, ou que os corpos caem porque existe gravidade, mas foi pensar que a gravidade talvez não estivesse restrita à Terra, mas que existisse a maiores alturas, como à da Lua, por exemplo. Assim, comparando a queda da Lua com a queda dos corpos na Terra, chegou ao resultado de que assim como eles, sua queda era proporcional ao quadrado do tempo.

Feita a contextualização, o professor pode enunciar a lei da gravitação universal e colocar fórmula 2.13 no quadro negro e explicar o significado das grandezas envolvidas, bem como suas respectivas unidades de medida. Ao invés de dar pronto o valor da constante de gravitação universal, propõe-se que os alunos calculem seu valor de maneira lúdica utilizando novamente o Phet Colorado (2019), acessando o “Laboratório de Força Gravitacional”. Se possível, esta parte da aula seria mais interessante num laboratório de informática, para que cada aluno pudesse manusear o simulador. A partir da equação da gravitação universal e dos dados colocados na Figura 3.4, espera-se que os alunos cheguem a um valor de $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}$.

Figura 3.4: Simulação de atração da força gravitacional para dois corpos m_1 e m_2 .



Fonte: PHET COLORADO (2019).

A seguir, propõe-se que os alunos manuseiem as variáveis de massa e distância entre os corpos de massa m_1 e m_2 para que percebam visualmente que a atração gravitacional entre os corpos aumenta proporcionalmente com o aumento das massas e diminui com o aumento da distância entre eles. É possível aproveitar também a figura genérica das massas para reforçar que a força gravitacional existe entre dois corpos quaisquer seja na Terra ou no espaço e que valor dessa força entre eles é a mesma, assim como na terceira lei de Newton.

Para relacionar o novo conhecimento com os que foram discutidos na aula passada, propõe-se a seguinte situação-problema: “porque a velocidade (linear) dos planetas varia numa órbita elíptica e não varia numa órbita circular?”. Após alguns momentos de discussão entre os alunos, o professor pode acessar com eles novamente as simulações apontadas em 3.3.3, desta vez adicionando a configuração “Força Gravitacional”. Dessa forma, para aqueles que ainda não tenham compreendido, poderá ficar claro que como na trajetória circular a distância entre o planeta e o Sol é a mesma, e suas massas também, a atração gravitacional também será constante e sua velocidade será a mesma. Já na trajetória elíptica, há pontos em que o planeta estará mais próximo e mais distante do Sol, e como foi visto, a distância influencia no valor da força gravitacional. Assim, quanto menor a distância entre eles, mais a força gravitacional aumenta e isso faz com que o planeta acelere, aumentando sua velocidade linear. Vale lembrar que se trata da velocidade linear, aquela tangencial à órbita.

Para encerrar a aula, recomenda-se aos alunos a leitura do artigo de Martins (2006) em casa e sugere-se a resolução do seguinte problema aos alunos, adaptado de Ramalho *et al* (2015): Dois corpos estão situados a uma distância r um do outro, atraindo-se com força de intensidade F . Qual será a intensidade F' da nova força de interação se:

- a) a massa de um deles for duplicada?
- b) a massa de ambos for triplicada?
- c) a distância entre eles for reduzida à metade?

As respostas deverão ser entregues ao professor até a próxima aula para que ele possa continuar avaliando o progresso dos alunos.

3.2.5 Oitava e Nona Aulas

Estas aulas serão dedicadas a continuar o estudo da gravitação universal aprofundando nos temas: campo gravitacional e campo de gravidade, aceleração da gravidade e velocidade orbital. Como ponto de partida, propõe-se o seguinte questionamento: “A gravidade existe somente na Terra ou também no espaço?”

A partir das respostas o professor poderá trabalhar a noção de campo gravitacional dos alunos, esclarecendo que a gravidade existe através dele no espaço também, não só na Terra, no entanto sua intensidade diminui conforme nos afastamos dela, ou conforme quaisquer dois corpos se afastam entre si. Assim, vale diferenciar os termos “campo gravitacional” e “campo de gravidade” sendo o primeiro genérico e existente entre quaisquer dois corpos e o segundo o nome dado para o campo gravitacional particular da Terra. É importante ressaltar que o campo gravitacional tem alcance infinito no universo, no entanto, diminui com a distância entre os

corpos, que podem ser mais fortemente atraídos por outros corpos mais próximos ou massivos no espaço.

Com isso, é possível passar para a noção de aceleração da gravidade na Terra, que também diminui conforme nos afastamos dela. Para poder determinar seu valor, o professor pode deduzir com os alunos sua expressão matemática conforme a descrição de Ramalho *et al* (2015), partindo das condições ideais desprezando a ação do Sol, da Lua e de outros astros (ou seja, considerando a Terra isolada no universo e sem considerar sua rotação). Nessas condições, o campo gravitacional coincide com o campo de gravidade e a força de atração gravitacional \vec{F} sobre um corpo de massa m é o seu próprio peso \vec{P} , expresso por $\vec{P} = m\vec{g}$. Considerando a massa da Terra sendo M e o raio da Terra sendo R , temos em módulo:

$$F = P \Rightarrow G \frac{Mm}{R^2} = mg$$

Portanto, a aceleração da gravidade nos pontos da superfície terrestre é:

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad (3.1)$$

Para uma altura h , a distância r entre o corpo m e a Terra será $r = R + h$, assim:

$$g_h = \frac{GM}{r^2} = \frac{GM}{(R+h)^2} \quad (3.2)$$

é a aceleração da gravidade para um corpo m a uma altitude h .

Aqui é importante verificar se os alunos compreendem que o sentido do campo e da aceleração gravitacional é para o centro do corpo, no caso calculado, para o centro da Terra. Com isso o professor pode introduzir o seguinte problema: “Se os corpos na superfície da Terra e ao redor dela são atraídos para o seu centro, por que o Sol e a Lua permanecem no céu sem cair na Terra?”. Após as discussões entre os alunos, o professor poderá conduzi-los para a noção de corpos em órbita, a fim de entender que eles não caem na superfície porque além da atração gravitacional que puxa para o centro, existe uma velocidade tangencial com a qual eles estão orbitando a Terra que influencia o movimento, de forma que eles estariam constantemente caindo, mas sempre ao redor da Terra quando possuem uma velocidade suficiente para se manter em órbita (velocidade orbital).

O próximo passo é encontrar a expressão matemática para calcular a velocidade orbital de um corpo que gira ao redor de outro. Conforme Ramalho *et al* (2015), para isso, consideramos um planeta de raio R e massa M , e um satélite de massa m orbitando circularmente em torno do planeta a uma altitude h . Para instigá-los a pensar, o professor pode perguntar qual é a força resultante que age sobre o satélite, e se necessário, lembrá-los do conceito de força centrípeta. Assim, a força gravitacional entre o planeta e o satélite é igual à

força centrípeta, e a aceleração centrípeta para manter o satélite em órbita corresponde à aceleração da gravidade na altitude h , portanto:

$$a_c = g_h$$

em que a aceleração centrípeta a_c é expressa como $a_c = \frac{v^2}{r}$ e $g_h = \frac{GM}{r^2}$. Assim,

$$\frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

em que $r = R + h$, logo

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \quad (3.3)$$

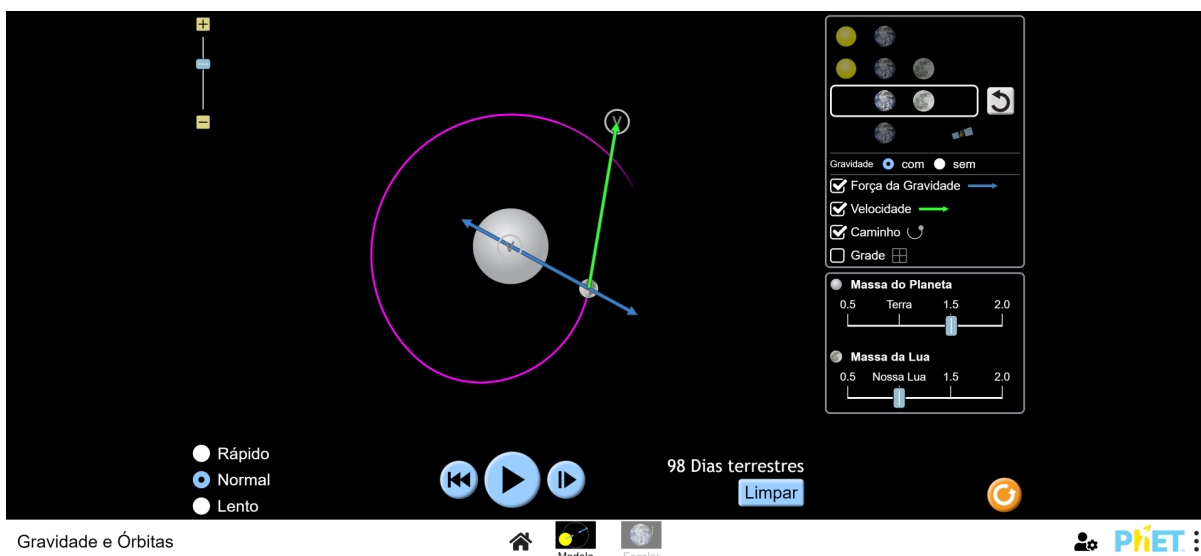
é a velocidade orbital.

Como forma de relacionar esses novos conhecimentos, o professor irá propor a resolução dos seguintes problemas em pequenos grupos:

- a) Por que um astronauta flutua dentro de sua nave, quando ela se encontra em órbita?
- b) Como a massa de um planeta afeta a velocidade orbital de um satélite?
- c) A velocidade orbital de um satélite é maior quando ele está mais próximo do planeta ao qual está orbitando? Por que?
- d) Como a gravidade afeta a trajetória de um objeto em órbita? Se não houvesse gravidade, como seria a trajetória desse objeto?

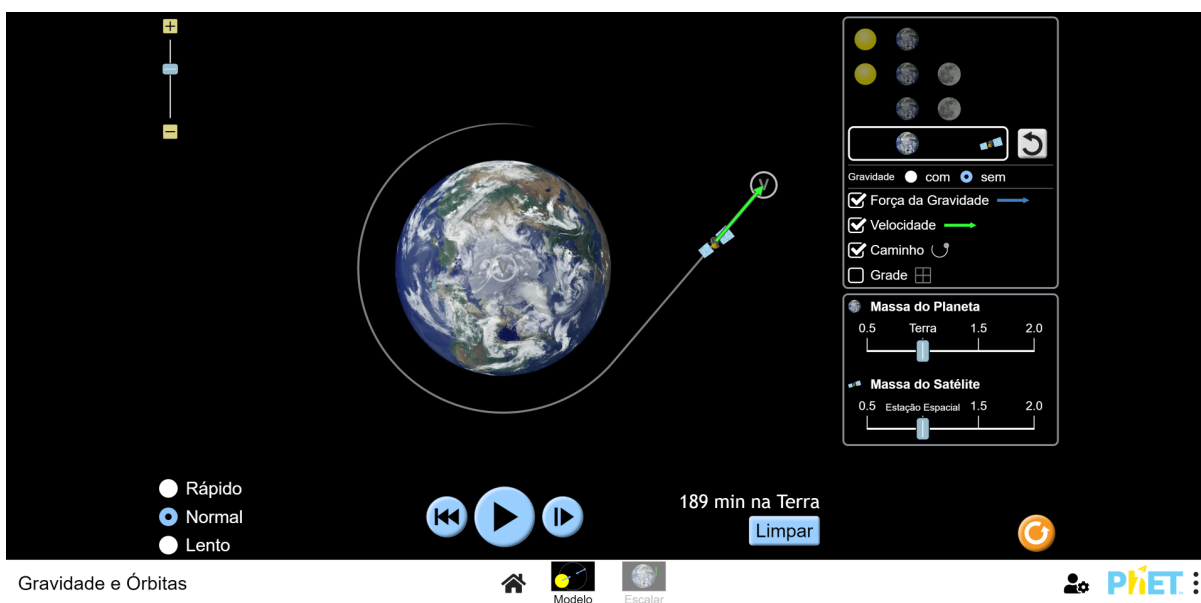
Durante a atividade, se quiserem, os grupos podem discutir entre si para responder às questões, mas deverão entregar separadamente a resposta por escrito ao professor. Ao final, para corrigir possíveis dúvidas, o professor poderá projetar um vídeo do canal Ciência Todo Dia (2013), que irá explicar a questão a) com o princípio da imponderabilidade. Os efeitos físicos dos demais itens podem ser melhor visualizados no laboratório virtual “Gravidade e Órbitas” do Phet Colorado (2019), como mostram as imagens abaixo:

Figura 3.5: Simulação da trajetória da Lua ao redor da Terra desviada com o aumento da massa da Terra.



Fonte: PHET COLORADO (2019).

Figura 3.6: Simulação da trajetória de um satélite desviada de uma situação com gravidade para ausência de gravidade.



Fonte: PHET COLORADO (2019).

Assim, utilizando as configurações “Força da Gravidade”, “Velocidade”, “Caminho” e variando a distância entre os corpos que orbitam a Terra (na primeira simulação a Lua e na segunda um satélite) é possível visualizar para o item b) que quanto maior a massa do planeta, maior será a força gravitacional e, portanto, maior é a velocidade orbital necessária para um satélite permanecer em órbita. Para o item c) que a velocidade orbital de um satélite é maior quando ele está mais próximo do planeta ao qual está orbitando porque a força gravitacional exercida pelo planeta é maior quando o satélite está mais próximo e assim ele precisa aumentar

sua velocidade orbital para compensar a força gravitacional maior e permanecer em órbita. Para o item d) que a força gravitacional desvia a trajetória inercial de movimento em trajetória retilínea uniforme do corpo em órbita, para um movimento circular ao redor do planeta. Ao final da discussão, os grupos poderão reescrever suas respostas em outro papel se desejarem e entregá-las ao professor novamente.

3.2.6 Décima Aula

Depois de todas as aulas trabalhadas até o momento, chega o momento de concluir o tópico “gravitação universal”. O professor poderá fazer algumas considerações finais sobre o assunto, partindo novamente para aspectos mais amplos e gerais da gravitação. Um primeiro tópico interessante de relacionar é a origem e evolução das estrelas, galáxias, planetas e outros objetos celestes. Através de imagens de alguns desses astros mais conhecidos projetadas em slides, é possível chamar a atenção dos alunos para o tema e perguntar a eles como o conteúdo visto até o momento se relaciona com a formação e evolução desses corpos celestes. Partindo das respostas dos alunos, o professor pode ir mediando a discussão para a conclusão de que a força gravitacional existente entre os corpos no espaço atrai e reúne matéria suficiente em uma região para que objetos como galáxias ou estrelas possam se formar. Vale acrescentar que também atua na evolução das estrelas, podendo transformar-se em gigantes vermelhas, nebulosas, supernovas, anãs brancas, estrela de nêutrons ou buracos negros.

Um segundo tópico que pode ser comentado é sobre as contribuições de Albert Einstein para o estudo da gravitação: propôs uma nova teoria da gravitação, a teoria da relatividade geral, que expandiu e reformulou a compreensão da gravidade em relação à teoria da gravitação de Newton, explicando-a como uma curvatura no espaço-tempo causada pela presença de massa e energia, que é sentida por outros objetos como uma força de atração gravitacional. Assim é possível comparar que nessa teoria a gravidade não depende da ideia de uma força agindo à distância, como na lei da gravitação universal de Newton, mas sim da curvatura do espaço-tempo. Concluindo, que a teoria da relatividade geral também deu explicações para fenômenos que a lei de Newton não conseguia explicar completamente, como a deflexão da luz de estrelas próximas ao passar perto do sol e aprimorou a compreensão da gravidade oferecendo uma nova maneira de entender a relação entre massa, espaço e tempo.

Como atividade final, o professor poderá solicitar um mapa conceitual sobre gravitação universal, em consonância com a primeira aula, como forma de unificar e relacionar todo o conteúdo visto até o momento. Essa atividade será colaborativa, em pequenos grupos, que poderão trocar os mapas entre si para serem corrigidos e melhorados, sendo entregues na aula

seguinte como forma de sintetizar o estudo para a avaliação individual da próxima aula. O mapa deverá ser iniciado na aula, e poderá ser terminado em casa se não for possível entregar antes. Durante a confecção do mapa em sala o professor deve supervisionar os grupos, orientando-os e estando atento às dúvidas finais para solucioná-las para que possam terminar de assimilar os conceitos aprendidos e relacioná-los entre si.

3.2.7 Décima primeira Aula

A última aula da sequência didática será dedicada à realização de uma avaliação individual para os alunos, envolvendo os assuntos trabalhados durante as aulas anteriores. Esta avaliação deverá conter questões abertas envolvendo os conceitos principais vistos na sequência de aulas, podendo repetir algumas situações-problema que já foram discutidas e respondidas pelos alunos anteriormente, para analisar mais uma vez o conhecimento deles nesta etapa final e comparar com as respostas dadas anteriormente. Contudo, também deverá apresentar novas situações-problema que envolvam capacidade de compreensão, de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema e relacionar os conceitos aprendidos. Esta será a avaliação somativa.

Haverá ainda uma avaliação formativa, em que o professor deverá comparar o desempenho e evolução dos alunos desde a primeira aula até a última por meio das atividades elaboradas pelos alunos, ou seja, analisando os mapas conceituais, o mapa mental e as respostas dos questionários entregues. A nota final será dada pela média aritmética da nota da avaliação somativa e a formativa.

3.3 Análise da Sequência Didática

A análise a seguir pretende verificar indícios de que a sequência didática proposta possa ser potencialmente significativa, comparando-a com os princípios da TAS apontados no Capítulo 1 deste trabalho, bem como examinar se abarca a as habilidades e objetos de conhecimento específicos da gravitação universal, como apontado pela BNCC e pelo Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná no Capítulo 3.

3.3.1 Quanto aos princípios da TAS

Podemos resumir os princípios da TAS nos seguintes tópicos:

- 1) Valorização dos subsunçores;
- 2) Condições para a aprendizagem significativa;
- 3) Afastamento da aprendizagem mecânica;
- 4) Dimensões da aprendizagem significativa;
- 5) Estratégias e instrumentos facilitadores;
- 6) Processos da estrutura cognitiva.

Quanto ao item 1) verifica-se que valorização dos conhecimentos prévios ou subsunçores esteve presente em todas as aulas da sequência didática, partindo da primeira em 3.2.1 que foi preparatória para as aulas que vem a seguir, e não possui o intuito de começar a apresentar ainda o conteúdo estrutural a ser aprendido, servindo para colher os conhecimentos prévios mais simples e “crus” que os alunos possam ter sobre o assunto, sem influência nenhuma de conteúdos expostos sobre gravitação universal. As demais aulas sempre introduziram questionamentos ou situações em que os alunos pudessem expressar seus conhecimentos prévios, para que o professor pudesse partir deles e relacioná-los com o novo conteúdo a ser aprendido.

Quanto ao item 2) as condições necessárias para a AS são que os materiais utilizados sejam potencialmente significativos e que o aluno possua predisposição para aprender. Em relação à primeira condição, em 3.2.2 o material utilizado para apresentar os novos conteúdos foram os slides, que constituem material potencialmente significativo uma vez que a abordagem histórica feita é relacionada com as situações-problema feitas inicialmente e servirá para que os alunos compreendam de onde vieram as equações matemáticas que serão estudadas posteriormente, para que elas possam vir a ser também potencialmente significativas para os alunos, e não meras fórmulas sem sentido que não se sabe em que contexto surgiram. Em 3.2.6 esse recurso também é utilizado e justifica-se como potencialmente significativo, já que

imagens de objetos celestes como estrelas, galáxias e planetas são de interesse da maioria dos alunos, e sua visualização como a força gravitacional exerce influência sobre sua origem e evolução.

Em 3.2.3 os materiais potencialmente significativos foram os da construção das elipses, o quadro negro e as simulações utilizadas. A atividade é potencialmente significativa porque a primeira serve como organizador prévio, e assim permitirá compreender as leis de Kepler e suas respectivas equações escritas no quadro negro, de forma que tenham significado para os alunos. As simulações utilizadas servem como recurso visual que facilita a observação dos fenômenos de forma que eles possam perceber as relações matemáticas através de experimentos virtuais, concretizando-as.

Em 3.2.5 e 3.2.6 o quadro negro e as simulações também foram os recursos utilizados e justificam-se como material potencialmente significativo. Em 3.2.5 porque a expressão matemática é apresentada após sua contextualização histórica, que é essencial para atribuir significado a ela, bem como a compreensão do significado físico das grandezas envolvidas. Em 3.2.6, o quadro negro é essencial para o desenvolver o raciocínio lógico que leva às expressões matemáticas utilizadas. E as simulações utilizadas nas duas servem, assim como em 3.2.4 para melhor visualização dos fenômenos, possibilitando manipular as variáveis e verificar seus efeitos. Em 3.2.5 ainda é recomendado a leitura de um texto, e em 3.2.6 é transmitido um vídeo que após a discussão em sala de aula serão complementares e portanto, potencialmente significativos.

Sobre a predisposição dos alunos em aprender, essa condição é algo que, como foi discutido anteriormente, não se trata simplesmente de motivação e interesse, depende de uma atitude positiva em querer relacionar os conhecimentos. Essa postura ativa depende somente dos alunos, mas o professor pode instigá-los a essa predisposição, despertando justamente o interesse e a atenção deles por meio dos desafios propostos e das discussões realizadas em sala de aula, das atividades, dos recursos didáticos como os simuladores, vídeos e slides, e eles envolvem uma participação ativa dos alunos, na qual precisam captar e negociar significados com o professor, de forma que as aulas não se limitam à monotonia de ouvir o discurso expositivo do professor.

Quanto ao item 3) o parágrafo anterior também justifica a distância da abordagem proposta em relação à aprendizagem mecânica e sua maior proximidade em relação à aprendizagem significativa. No entanto, vale ressaltar que momentos de aula expositiva são necessários para a aprendizagem significativa, como ocorreu durante a apresentação de slides em 3.2.2 e 3.2.6, e nas exposições matemáticas realizadas em 3.2.3, 3.2.4 e 3.2.5. Ter utilizado

em certos momentos essa abordagem não significa que a aprendizagem será mecânica ou próxima do ensino tradicional, pois a exposição do conteúdo é a parte do processo em que os alunos conhecem os saberes tidos como aceitos naquele campo de estudo. Contudo, não deve ser a única abordagem, como de fato, não foi em nenhuma das aulas, pois diversas discussões, debates, atividades e outros recursos foram utilizados para a assimilação e compreensão dos conteúdos.

Quanto ao item 4) verifica-se que as duas dimensões de aprendizagem foram utilizadas na sequência didática. A aprendizagem por recepção ocorre nos momentos de aula expositiva citados no parágrafo anterior, contudo também procurou-se proporcionar uma aprendizagem por descoberta guiada pelo professor com a introdução e discussão de situações-problema iniciais nas aulas, e na utilização posterior dos simuladores. Em 3.2.5 procurou-se que a dedução das expressões matemáticas fossem por descoberta guiada, partindo da reflexão dos alunos sobre as situações apresentadas, contudo, para aqueles que não tiverem ainda os conhecimentos prévios necessários para desenvolver o raciocínio e chegar às equações, será uma aprendizagem por recepção.

Quanto ao item 5) verifica-se a utilização de diversas estratégias e instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa, incluindo alguns que não foram citados no Capítulo 1, como a criação de mapas conceituais em 3.2.1 e 3.2.6, resumos escritos em 3.2.1, mapas mentais em 3.2.2, organizadores prévios em 3.2.3, atividades colaborativas em 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5 e 3.2.6, uso da linguagem verbal acessível por meio de negociações de significados nas discussões em todas as aulas, exceto na de avaliação.

Quanto ao item 6) verifica-se que a sequência didática segue a hierarquia dos dois processos da estrutura cognitiva. Promove a diferenciação progressiva uma vez que parte de conceitos, abordagens e explicações mais amplas e gerais para os mais específicos e complexos, passando desde os primeiros conhecimentos prévios dos alunos em 3.2.1, para parte da história da gravitação em 3.2.2, aprofundando com as leis de Kepler em 3.2.3, progressivamente com a lei da gravitação universal em 3.2.4 e por fim com conceitos finais em 3.2.5. Ou seja, o conjunto das aulas segue a hierarquia da diferenciação progressiva, no entanto olhando para as aulas mencionadas individualmente, esse processo também é perceptível, pois o professor parte de situações-problema mais simples para chegar a outras mais complexas no final. Por fim, promove a reconciliação integradora em 3.2.6, que trata novamente de tópicos mais amplos e gerais da gravitação e como ela afeta o universo, relacionando assim os conhecimentos diferenciados anteriormente.

3.3.2 Quanto à BNCC e ao Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná

Três habilidades específicas foram apontadas em 3.1 como as que possuem relação com o tópico “Gravitação Universal”, são elas as (EM13CNT201), (EM13CNT204) e (EM13CNT209).

Verifica-se que a habilidade (EM13CNT201) e seus respectivos objetos de conhecimento são desenvolvidos nas aulas em 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 e 3.2.6 onde gradativamente foi abordada a história da gravitação e finalmente relacionada com a explicação moderna da teoria da relatividade geral de Einstein.

Verifica-se que a habilidade (EM13CNT204) e seus respectivos objetos de conhecimento são desenvolvidos nas aulas em 3.2.3, 3.2.4 e 3.2.5 nas quais foram apresentadas as leis de Kepler, da gravitação universal e conceitos mais específicos decorrentes dessa lei para prever matematicamente a dinâmica dos movimentos planetários.

Verifica-se que a habilidade (EM13CNT209) e seus respectivos objetos de conhecimento são desenvolvidos na aula 3.2.6, em que a gravitação universal é relacionada à origem e evolução de diversos objetos celestes.

Dessarte, a sequência didática abarca as exigências previstas pela BNCC e pelo Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná.

Considerações Finais

A pesquisa desenvolvida observou a Teoria da Aprendizagem Significativa como alternativa no ensino da Gravitação Universal no Ensino Médio, em contraposição ao ensino tradicional, caracterizado por promover a aprendizagem mecânica.

Há indícios de que os objetivos do estudo foram alcançados, visto que foi possível explicar e propor a abordagem da teoria da aprendizagem significativa como caminho para o ensino de Física no Ensino Médio. Assim, foi possível compreender os fundamentos da teoria da aprendizagem significativa no Capítulo 1. Em seguida, no Capítulo 2, realizou-se um estudo bibliográfico sobre tópicos da gravitação universal através de uma abordagem histórica, trilhando os caminhos que grandes pensadores e estudiosos anteriores a Isaac Newton percorreram até que este chegasse à formulação da Lei da Gravitação Universal. Por fim, no Capítulo 3, foi proposta uma sequência didática sobre gravitação universal com base nos pilares da aprendizagem significativa, abordando a temática escolhida.

Com isso, foi possível constatar que a teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel pode auxiliar alunos e professores num processo de ensino-aprendizagem eficiente no campo da Física ao tomar como ponto de partida os conhecimentos prévios dos alunos, a fim de relacioná-los com os novos a serem aprendidos, considerando as condições necessárias e as dimensões da AS, bem como os processos da estrutura cognitiva e o uso de estratégias e instrumentos facilitadores. Nesse sentido, verificou-se que há evidências de que a sequência didática proposta apresenta os fundamentos da TAS e de que é amparada pela Base Nacional Comum Curricular, bem como pelo Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná.

Assim, conclui-se, que esse estudo contribui para o ensino de Física no âmbito do Ensino Médio, pois apresenta uma sequência didática que indica ser potencialmente significativa, baseada em uma perspectiva pedagógica alternativa à do ensino tradicional, amplamente criticado por insistir com métodos puramente mecânicos, memorizativos e algébricos, em detrimento do desenvolvimento do pensamento crítico, que colocam o aluno em uma postura passiva diante da sua responsabilidade com o próprio conhecimento.

Diante de tais considerações, recomenda-se para trabalhos futuros um maior aprofundamento sobre a implementação da teoria da aprendizagem significativa no ensino de Física, a aplicação da sequência didática proposta neste trabalho a fim de buscar evidências de aprendizagem significativa e aprimorá-la almejando sua maior eficácia, e por fim, a sugestão de novas sequências didáticas sobre outros tópicos da Física com base na TAS.

Referências bibliográficas

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Paralelo, 2003.

AUSUBEL, David Paul. **Home**, 2019. Disponível em: <http://www.davidausubel.org/index.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2017. p. 556-557.

CIÊNCIA TODO DIA. **Por que os astronautas flutuam?**. YouTube, 28 set. 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iLUP-RR2Vv0> .

COELHO, L. M.; MARQUES, A. J. ; SOUZA, D. G. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de História**. Revista Educação Pública (Rio de Janeiro), v. 19, p. 01-07, 2019.

COHEN, Bernard I. **O Nascimento de uma Nova Física**. Trad. M. A. Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988.

DA SILVA, João Batista. **A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias**. Research, Society and Development, v. 9, n. 4, p. e09932803-e09932803, 2020.

FABRIS, Júlio César. **Aristóteles e a gravitação**. Cadernos de Astronomia, v. 1, p. 6-16, 2020.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1981.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**, vol 1- manual do professor. São Paulo: Atica, 2011. 536p .

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução. **A História das Ciências e seus usos na educação**. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. **A maçã de Newton: história, lendas e tolices.** In: Cibelle Celestino Silva. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2006, v. , p. 167-189.

MOLEDO, L.; MAGNANI, E. **Dez teorias que comoveram o mundo.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2009.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Instituto de Física–UFRGS. Porto Alegre, 2010.

MOREIRA, Marco Antonio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS.** Porto Alegre, RS: Física - UFRGS - v.23, n.2, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **Diagramas V e Aprendizagem Significativa.** Instituto de Física–UFRGS. Porto Alegre, 2012.

NEVES, M. C. D. **A História da Ciência no Ensino de Física.** Ciência&Educação, 5(1): 73–81, 1998.

NEVES, M. C. D.; SAVI, A. A. **A sobrevivência do alternativo:** uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de Física. Ciência e Educação (UNESP), Bauru, v. 6, n.1, p. 11-20, 2000.

NEWTON, I. **Principia - Princípios Matemáticos de Filosofia Natural.** In: Trieste Ricci, L. Gregory Brunet, S. Terezinha Gehring e M. H. Curcio Célia (ed.). São Paulo: EDUSP / Nova Stella, 1990.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1: Mecânica.** São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná.** Curitiba, PR: SEED/PR, 2021. p. 396-399.

PELIZZARI, Adriana. et al. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel -Ver. PEC,** Curitiba, V.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

PENEREIRO, Júlio César. **Galileo e a Defesa da Cosmologia Copernicana: A sua Visão do Universo.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. v.26, p. 173-198, 2009.

PHET COLORADO. **Gravidade e Órbitas**. 2019. Disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_pt_BR.html.

Acesso em: 15 fev. 2023.

PHET COLORADO. **Meu Sistema Solar**. 2019. Disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/my-solar-system/latest/my-solar-system_pt_BR.html.

Acesso em: 15 fev. 2023.

PHET COLORADO. **Laboratório de Força Gravitacional**. 2019. Disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab_pt_BR.html.

Acesso em: 15 fev. 2023.

PONTES NETO, J. A. S. **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas**. Série Estudos – Periódico do Mestrado em Educação da UCDB, n. 21, p. 117-130, 2006.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; DE LIMA, I. G. **As contribuições de David Ausubel para os processos de ensino e de aprendizagem**. Dynamis (Furb. Online), 2020.

RAMALHO, Francisco. et al. **Física 1: Os Fundamentos da Física - Parte III**. 11 ed. São Paulo: Moderna, 2015.

VALADARES, Jorge. **A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista**. Aprendizagem Significativa em Revista, 1(1), 36-57, 2011.

Apêndice A

Construção de Duas Elipses de Excentricidades Diferentes

Materiais

- Um retângulo de papelão de dimensões 30 x 50 cm
- Duas folhas sulfite A4
- Duas tachinhas compridas
- Um fio de barbante de 20 cm
- Uma caneta

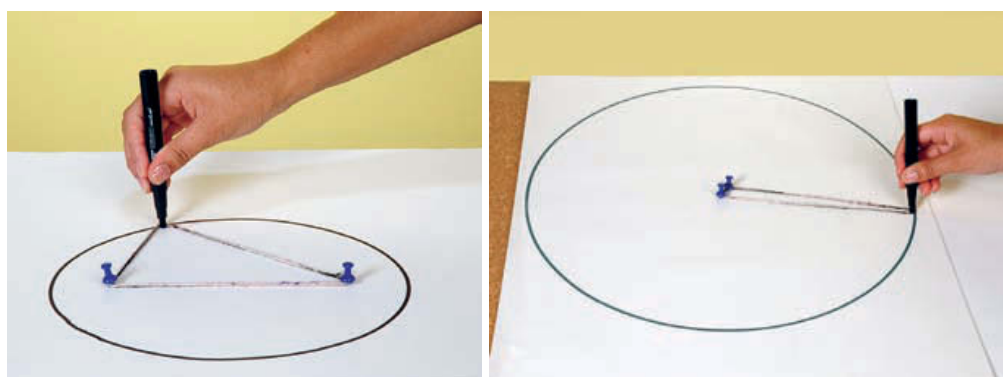
Procedimentos para construir uma elipse de excentricidade maior

- 1) Coloque a folha sulfite sobre o papelão
- 2) Fixe as duas tachinhas a uma distância de 8 cm na folha sulfite
- 3) Amarre as pontas do fio de barbante formando um anel
- 4) Encaixe o anel de barbante em volta das duas tachinhas
- 5) Com a caneta no interior do anel, estique o barbante e desenhe o contorno resultante ao redor dele

Procedimentos para construir uma elipse de excentricidade menor

- 1) Coloque o outra folha sulfite sobre o papelão
- 2) Fixe as duas tachinhas a uma distância de 1 cm na folha sulfite
- 3) Repita os procedimentos 4) e 5) mencionados anteriormente

Figuras (a) e (b): À esquerda, a construção da elipse de maior excentricidade e à direita a de menor excentricidade.

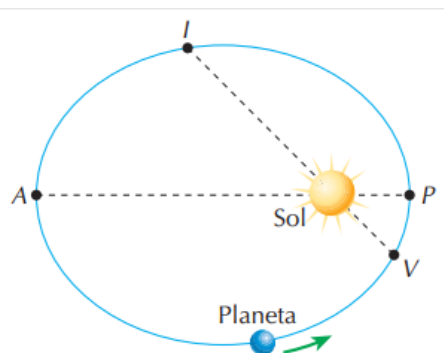


Fonte: GASPAR (2011, p. 252).

Apêndice B

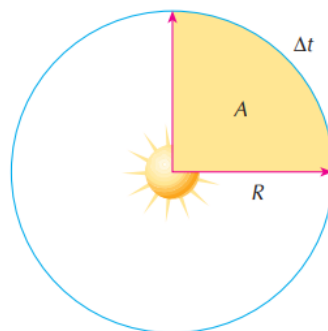
Questionário das Aulas 3.3.3 sobre Leis de Kepler

1. (Ramalho *et al*, 2015) Quais são as características da órbita que um planeta P descreve em torno do Sol? O planeta apresenta maior velocidade no afélio ou no periélio?
2. (Unicamp-SP) A figura abaixo representa, exageradamente, a trajetória de um planeta em torno do Sol. O sentido de percurso é indicado pela seta.



O ponto V marca o início do inverno. O ponto P indica a maior aproximação do planeta ao Sol e o ponto A marca o maior afastamento. Os pontos V, I e o Sol são colineares, bem como os pontos P, A e o Sol.

3. (Ramalho *et al*, 2015) Um planeta descreve um quarto de sua órbita em torno de seu Sol, num sistema planetário de outra galáxia, em 28 dias terrestres.



Determine:

- a) o período de translação desse planeta em torno de seu Sol.
- b) a velocidade areolar desse planeta, supondo que o raio de sua órbita, considerada circular, vale 5.000 km.