



UFPA
UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARÁ



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 37**

Fábio Cunha Teixeira da Costa

**Proposta de Aprendizagem das Leis de Kepler para Alunos do Ensino Médio por Meio de
Tecnologias Disruptivas.**

Belém / Pa.

2023

Fábio Cunha Teixeira da Costa

Proposta de Aprendizagem das Leis de Kepler para Alunos do Ensino Médio por Meio de Tecnologias Disruptivas.

Dissertação apresentada ao Polo 37 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Pará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino Médio.

Orientador: Dr. Klaus Cozzolino

Belém / Pa.

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C837p Costa, Fábio.
Proposta de Aprendizagem das Leis de Kepler para Alunos do Ensino
Médio por Meio de Tecnologias Disruptivas. / Fábio Costa.
— 2023.
129 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Klaus Cozzolino
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física, Belém, 2023.
1. ensino de física. 2. tecnologias disruptiva. 3. realidade
aumentada. 4. realidade virtual. 5. gravitação universal. I. Título.

CDD 530.07

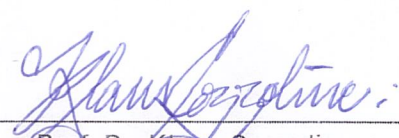


ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.

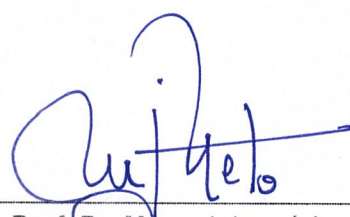
ATA DA 106ª SESSÃO DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTITULADA “PROPOSTA DE APRENDIZAGEM DAS LEIS DE KEPLER PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS” PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENSINO FÍSICA, COMO DISPÕE O ARTIGO 28º DO REGIMENTO DO MNPEF, REALIZADA ÀS 09:00H DO DIA 30 DE NOVEMBRO DE 2023, NO AUDITÓRIO DO LABORATÓRIO DE FÍSICA ENSINO. FOI APRESENTADA DURANTE 40 MINUTOS PELO CANDIDATO **FÁBIO CUNHA TEIXEIRA DA COSTA**, MATRÍCULA Nº 201968870025, DIANTE DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, ASSIM CONSTITUÍDA: MEMBROS: PROF. DR. KLAUS COZZOLINO (ORIENTADOR), PROF. DR. MANOEL JANUÁRIO DA SILVA NETO (MEMBRO INTERNO) E PROF. DR. ATEM NASCIMENTO PONTES (MEMBRO EXTERNO). EM SEGUIDA, O CANDIDATO FOI SUBMETIDO À ARGÜIÇÃO, TENDO DEMONSTRADO PLENO CONHECIMENTO NO TEMA OBJETO DA DISSERTAÇÃO, HAVENDO À BANCA EXAMINADORA DECIDIDO PELA APROVAÇÃO DA MESMA, E QUE SE PROCEDA NO PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS A ENTREGA DA VERSÃO FINAL COM AS RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS. PARA CONSTAR, FORAM LAVRADOS OS TERMOS DA PRESENTE ATA, QUE LIDA E APROVADA RECEBE A ASSINATURA DOS INTEGRANTES DA BANCA EXAMINADORA E DO CANDIDATO.

CANDIDATO(A):

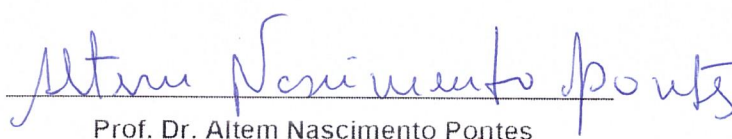
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Klaus Cozzolino
(Orientador - MNPEF – UFPA)



Prof. Dr. Manoel Januário da Silva Neto
(Membro Interno - MNPEF – UFPA)



Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes
(Membro Externo – UEPA)

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Universidade Federal do Pará



PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.

TEMA: "PROPOSTA DE APRENDIZAGEM DAS LEIS DE KEPLER PARA ALUNOS DO ENSINO
MÉDIO POR MEIO DE TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS".

A Banca Examinadora composta pelos Professores: Dr. Klaus Cozzolino (Orientador), Dr. Manoel
Januário da Silva Neto (Membro Interno) e Dr. Altem Nascimento Pontes (Membro Externo), consideram o
candidato FÁBIO CUNHA TEIXEIRA DA COSTA.

APROVADO

Secretaria do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do
Pará, em 30 de novembro de 2023.

Prof. Dr. Klaus Cozzolino
(Orientador - MNPEF – UFPA)

Prof. Dr. Manoel Januário da Silva Neto
(Membro Interno - MNPEF – UFPA)

Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes
(Membro Externo – UEPA)

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Universidade Federal do Pará



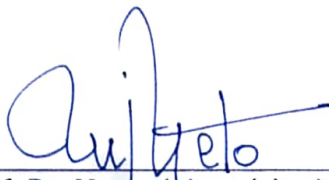
PROPOSTA DE APRENDIZAGEM DAS LEIS DE KEPLER PARA ALUNOS DO ENSINO
MÉDIO POR MEIO DE TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS

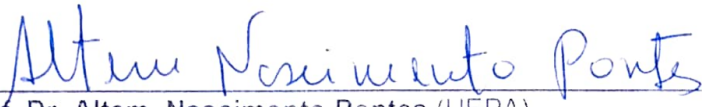
FÁBIO CUNHA TEIXEIRA DA COSTA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (UFPA) em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:


Prof. Dr. Klaus Cozzolino (MNPEF – UFPA)
ORIENTADOR


Prof. Dr. Manoel Januário da Silva Neto (MNPEF - UFPA)
MEMBRO INTERNO


Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes (UEPA)
MEMBRO EXTERNO

Belém - PA
Novembro - 2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação

A meus amados pais, Lourdes e Celso e minha preciosa filha Kayna.

AGRADECIMENTOS

Ao Supremo Arquiteto do universo que concedeu a possibilidade de aqui estar para poder crescer e desenvolver para expandir o conhecimento e experiência que tive a oportunidade de adquirir ao longo dessa jornada que denominamos vida.

Agradeço a minha esposa, meus filhos, mãe, pai, irmãos, família e amigos pelo apoio emocional e a oportunidade que, em especial, minha mãe, me deu, de ter acesso a livro, sendo ela bibliotecária.

Ao meu orientador Prof. Dr. Klaus Cozzolino pela compreensão, paciência e apoio em todos os momentos, meus mais sinceros agradecimentos.

A Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade que concedeu a todos os profissionais da educação para que pudessem assim como eu, subir mais um degrau na sua formação profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos meus professores do mestrado bem como a todos os servidores na Universidade Federal do Pará que de alguma forma foram importantes nessa jornada.

“Diga-me e eu esquecerei;
ensina-me e eu poderei lembrar;
envolva-me e eu aprenderei.”

Benjamin Franklin

RESUMO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Esta dissertação propõe-se a apresentar uma metodologia de ensino baseada na proposta de unidade de ensino potencialmente significativa como descrita por Marco Antonio Moreira e fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e adaptada para a aprendizagem das Leis de Kepler direcionada a alunos do ensino médio, com suporte psicopedagógico progressista Rogeriano centrado no indivíduo e ao mesmo tempo, sustentada na metodologia vygotskyana sobre a mediação por meio de tecnologias disruptivas de realidade aumentada e virtual, simulando ambientes de sistemas planetários por meio de periféricos como smartphones e óculos de realidade virtual e observando ainda as fases do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget.

Este trabalho usa em seu produto, ecossistemas digitais de domínio público: Google Card board e aplicativos disponíveis na loja de aplicativos do sistema operacional Android e IOS e ainda resalta a relevância do assunto através de dados estatísticos sobre a incidência de itens em versões anteriores do Exame Nacional do Ensino Médio e as perspectivas para o Novo Ensino Médio a partir da Base Nacional Curricular Comum, que destaca a Cultura Digital como competência geral, o que justifica o uso das ferramentas digitais que potencializam o aprendizado através de ativação da neuroplasticidade por meio da observação das leis a cerca do movimento dos planetas em vigência, o que gera o estímulo de recompensa e a formação de novos esquemas para assimilação do conteúdo conforme descreve Piaget além a construção das novas habilidades cognitivas que é objetivo alcançado no final deste trabalho.

A metodologia da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa segue a sequência proposta por Moreira, assim como a aplicação de questionário, aplicação do produto e reaplicação de questionário para a comparação de dados e avaliação de aprendizagem, que no caso deste, apresenta proficiência positiva.

Palavras-chave: ensino de física, tecnologias disruptiva, realidade aumentada, realidade virtual, gravitação universal.

ABSTRACT

Master's Thesis submitted to the Postgraduate Program of the Federal University of Pará in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements necessary to obtain the title of Master in Physics Teaching

This dissertation aims to present a teaching methodology based on the proposal for a potentially significant teaching unit as described by Marco Antonio Moreira and based on David Ausubel's theory of meaningful learning and adapted for the learning of Kepler's Laws aimed at teaching students medium, with progressive Rogerian psychopedagogical support centered on the individual and at the same time, supported by the Vygotskyan methodology on mediation through disruptive augmented and virtual reality technologies, simulating planetary system environments through peripherals such as smartphones and reality glasses virtual and also observing the phases of Jean Piaget's cognitive development.

This work uses public domain digital ecosystems in its product: Google Card board and applications available in the Android and IOS operating system application store and also highlights the importance and relevance of the subject through statistical data on the insidership of items in previous versions of the National High School Examination and the perspectives for the New High School based on the Common National Curricular Base, which highlights Digital Culture as a general competence, which justifies the use of digital tools that enhance learning through the activation of neuroplasticity through observation of the laws surrounding the movement of the planets in force, which generates the stimulus of reward and the formation of new schemes for assimilating the content as described by Piaget, in addition to the construction of new cognitive skills, which is the objective achieved at the end of this work.

The methodology of the Potentially Significant Teaching Unit follows the sequence proposed by Moreira, as well as the application of the form, application of the product and reapplication of the form for data comparison and learning assessment, which in this case, presents positive proficiency.

Keywords: physics teaching, disruptive technologies, augmented reality, virtual reality, universal gravitation.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. COMO SURTIU A IDEIA DO PROJETO	15
2. PRESSUPOSTO TEÓRICOS	20
2.1. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICANTE DE ROGERS	20
2.2. TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE PIAGET	22
2.3. TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY	23
2.3.1. A MEDIAÇÃO	24
2.3.2. INSTRUMENTOS E SIGNOS	24
2.3.3. ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)	25
2.4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL SOB O OLHAR DE MARCO ANTONIO MOREIRA	27
2.5 FUNDAMENTAÇÃO BASE	28
3. CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS	29
3.1. OS MODELOS PLANETÁRIOS	30
3.1.1.O MODELO DE PLATÃO DE ATENAS (a. C. 427 – a. C. 347)	30
3.1.2.O MODELO DE EUDOXO DE CNIDO (a. c. 408 – a. c. 355)	31
3.1.3.O MODELO GEO-HELIOCÊNTRICO	33
3.1.4.O MODELO GEOCÊNTRICO DE PTOLOMEU	35
3.1.5.O HELIOCENTRISMO DE COPÉRNICO	36
3.2. AS LEIS DE KEPLER.....	36
3.2.1. LEI DAS ÓRBITAS	39
3.2.2. LEI DAS ÁREAS	42
3.2.3. LEI DO PERÍODOS	44
3.3. A LEI DA GRAVITAÇÃO DE NEWTON	45
3.4. SÍNTESE SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE FÍSICA.....	47

4. TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E O ENSINO DA FÍSICA.....	49
4.1. A REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA	51
4.2. OS ESTÍMULOS ÓPTICOS E A APRENDIZAGEM.....	51
4.3. ESTEREOSCOPIA	56
4.3.1. ESTEREOSCÓPIO.....	58
4.4. TECNOLOGIA DA REALIDADE AUMENTADA	62
4.5. A BASE NACIONAL CURRICULAR (BNCC) E A CULTURA DIGITAL	64
5. METODOLOGIA DO ENSINO	65
5.1. O QUE É UM PRODUTO EDUCACIONAL	66
5.2. O QUE É UMA UEPS	66
5.3. CONSTRUÇÃO DA UEPS	68
6. METODOLOGIA.....	68
6.1. A APLICAÇÃO DO PRODUTO	69
6.1.1. APLICAÇÃO DO PRIMEIRO QUESTIONÁRIO	69
6.1.2. APRESENTAÇÃO DO PRIMEIRO E SEGUNDO APP	70
6.1.3. APRESENTAÇÃO DO CARDBOARD	73
6.1.4. APRESENTAÇÃO DO TERCEIRO APP	74
6.1.5. DEBATE E REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	75
6.1.6. RETOMADA DOS NOVOS SABERES	76
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	77
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE	92

1. INTRODUÇÃO

Quanto ao labor no ensino de Física para o de educação básica o pesquisador, começa ainda no curso de graduação quando tomou como propósito “fazer diferente”. Usar de uma metodologia e uma linguagem diferente das usadas por alguns professores que teve ao longo do curso da própria formação como aluno de Ensino Médio. Porém, isso se tornou um árduo desafio ao longo dos anos, visto que ensinou para uma geração que, cada vez mais, se desinteressava por ciência ao conhecer os mecanismos elementares de funcionamento do universo. Em 2009, celebrava-se o ano Mundial da astronomia e neste, teve contato com a Olimpíada Brasileira de Astronomia e a proposta da mostra de Foguetes (Figura. 1.1). Achou interessante a aplicação prática da mecânica na construção de protótipo de foguetes e isso, por sua vez, o levou a estudar mais sobre o assunto para poder ensinar, mesmo indo na contramão do PCN (documento que regulamentava a educação básica na época). Desde então, a astronomia e a participação em eventos de atividades extracurriculares, com o viés da divulgação científica, tornaram-se marcas do seu trabalho enquanto discente.

Figura 1.1.: Reação de surpresa de criança durante o lançamento de protótipo de foguetes na MOBFOG 2022



Fonte: do próprio autor

Na defesa do TCC (COSTA, 2018) de título: Black Mirror: O Ensino de Física do Quadro

Negro para as Telas de Smartphones, trouxe uma crítica a práxis de ensino arcaica para uma geração de nativos digitais (geração Z) e isso seria uma possível justificativa para os baixos índices de desempenho da educação básica medidos pelo IDEB através do ENEM. Uma geração cansada do “giz e cuspe”. Aparatos tecnológicos, como projetores e computadores portáteis surgiram, e tornou mais apresentável o conteúdo, que se limitava aos livros, às listas de exercício e ao quadro, entretanto, na prática, o resultado era o mesmo, ou seja, um conteúdo completamente desinteressante. A escola havia paralisado no tempo e a física continuava sendo ensinada ao *modus parisienses* (alvo da minha crítica no TCC).

Em 2016, depois de passar por problemas de ordem pessoais e particular, acreditou que não havia como mudar o modelo tradicional imposto e que caminhava, cada vez mais para o obscurantismo científico, não pelas práticas, mas pelo manejo observado pela gestão escolar que tornou-se mais flexível devido as políticas de não retenção dos alunos na série em curso, e ainda, não encontrava um método para “fazer diferente”. Neste momento, desistia da docência, contudo, ao saber desta precipitada decisão, um amigo e grande professor da graduação, que conseguiu influenciar uma geração inteira de professores, o Dr. José Luiz Magalhães Lopes, ouZé, como gostava que os graduandos o chamassem, fez uma proposta e pediu que somente depois tomasse uma decisão. Deveria ir ao Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) apenas para observar o que era feito no Brasil a fora acerca do ensino de Física. O evento ocorreu na USP / São Carlos e, no mesmo, teve a oportunidade de participar de um minicurso de gravação de videoaulas e ainda fiz um treinamento sobre aulas remotas e sala de aula invertida (flipped classroom) no Campus São Paulo da Google.

Ao Retornar para a cidade natal e onde o produto desta dissertação foi aplicado, motiva-se a partir de novas idéias e isto o reposiciona no mercado de ensino construindo uma nova identidade de professor, que, neste momento, estava limitada a ensinar o aluno a responder questionários sem criticidade e nenhuma motivação a investigação científica. Em 2018, esta experiência o leva a um novo patamar, que serve de estímulo para concluir a graduação e me submeter ao processo seletivo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) sendo egresso na turma 2019. Neste mestrado, teve ainda o contato com a fundamentação teórica necessária para aplicação de uma metodologia que seria também meu objeto de pesquisa: o uso de tecnologias disruptivas para o ensino.

1.1. COMO SURTIU A IDEIA DO PROJETO

O projeto original continuaria a defesa do assunto abordado no TCC, contudo, este não direcionava a criação de um produto educacional e ainda trazia, em fase de pré-projeto, algumas observações baseadas em neurociência propostas por MacLean na década de 1950 em sua obra “*The*

Triune Brain in Evolution: Role in Paleocerebral Functions” (O Cérebro Trino na Evolução: Papelas Funções Paleocerebrais). Por esta razão, precisou trocar de orientador e este lapidou a ideia, bem como meu referencial teórico, para que isto fosse apresentado à banca na qualificação da pesquisa para a dissertação, com alguns ajustes.

Inicialmente, foi necessário a escolha de um referencial teórico e fazer levantamento de dissertações anteriores entre os anos de 2017 e 2021, que também ancorasse no mesmo, neste caso Carl Rogers, Piaget e Vygotsky. A seguir no **Quadro 1.1**, encontram-se estruturados quatro produções disponíveis no repositório do MNPEF com seus respectivos autores, títulos e um breve resumo desta produção que se aproxima em seus referenciais teóricos, da proposta deste trabalho.

Quadro 1.1: Dissertações disponíveis no repositório do MNPEF que tem como referencial teórico o mesmo do autor.

Autor	Ano	Título	Resumo
ROCHA, Jonyson Marcos Borges da.	2018	Estudo da Calorimetria: uso dos dispositivos térmicos acessíveis.	Em uma proposta aparente de SEI por meio da construção de um forno e secador solar tendo como referencial as teorias humanistas de Carl Rogers e George Kelly.
BRITO, Jefferson Corrêa.	2018	Uma proposta de ensino pela pesquisa em laboratórios multidisciplinares: A Implementação do Comitê Científico na Escola Pública e a construção de uma Smart Home usando Plataforma Arduino.	Baseado na aprendizagem centrada na pessoa, de Carl Rogers, na teoria sobre o desenvolvimento cognitivo, de Lev Vygotsky e alguns aspectos da aprendizagem significativa, de David Ausubel, o autor (aparentemente) propõe uma SEI por meio de prototipagem feita em Placas Arduino, para ensinar conceitos de eletrodinâmica com ênfase em eletrônica, efeito fotoelétrico e o funcionamento de painéis fotovoltaicos.
VIEIRA RIBEIRO,	2018	Manual para desenvolvi-	Neste trabalho, a proposta do autor é

Antônio Carlos.		mento de Simulações em Geogebra: Um recurso didático para o ensino de cinemática na educação básica.	o ensino de cinemática através de uma ferramenta digital: Geogebra. Para isto, se utiliza de uma Sequência Didática fundamentada na teoria liberal não diretiva da educação de Rogers e a teoria de ensino construtivista de Bruner.
MIRANDA Jr., José Alberto de.	2019	Ensino pela pesquisa na sala de Aula do Ensino Médio: o uso de torneios de Física como atividades complementares.	Uma proposta de SEI aos moldes da utilizada na IYPT (International Yong Physicist Tournament) para ensinar conceitos da física básica: ondas, eletromagnetismo e óptica geométrica. Tendo ainda como base teórica a teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget e Vygotsky.

Fonte: O próprio autor

Seguindo a mesma lógica, foi feito o levantamento no mesmo período de dissertações que versassem sobre leis de Kepler conforme listadas a seguir, no **Quadro 1.2** e uso de tecnologias disruptivas no **Quadro 1.3**.

Quadro 1.2: Dissertações disponíveis no repositório do MNPEF que tratam da temática Leis de Kepler

Autor	Ano	Título	Resumo
RIBEIRO, Gyulianna Pinheiro.	2020	Aplicação de uma sequência didática de ensino usando a teoria dos campos conceituais para o estudo das leis de Kepler no ensino médio.	Uma proposta de SEI por meio de oficina de lapbook e construção de mapas conceituais para ensinar leis de Kepler. Baseia-se na teoria dos campos conceituais de Vernaug.
BATISTA, Fernando Wagner Ferreira.	2020	Sequência didática para implementação de um mini	Alicerçado na teoria sociointeracionista de Vygotsky e na teoria da

		curso de astronomia.	aprendizagem significativa de David Ausubel, o autor propõe uma UEPS por meio de um minicurso/oficina para ensinar conceitos de astronomia básica, como leis de Kepler
--	--	----------------------	--

Fonte: O próprio autor

Quadro 1.3: Dissestações disponíveis no repositório do MNPEF que tratam da temática Realidade Aumentada / Virtual

Autor	Ano	Título	Resumo
BARBOSA, Bruno Killiam Nascimento.	2020	Realidade aumentada como ferramenta de apoio para ensinar Eletromagnetismo.	Baseado na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, de Richard Mayer, o autor propões uma UEPS usando o aplicativo cg-physicsAR para o ensino de eletromagnetismo.
SOARES, José Renildo Moura.	2021	Proposta de uma sequência didática para o ensino da relatividade geral no ensino médio com a utilização da realidade virtual.	Uma proposta de SD utilizando a Realidade Virtual e seguindo os preceitos da teoria significativa de David Ausubel para ensinar sobre Eclipses.

Fonte: O próprio autor

Concluído esta etapa de levantamento de trabalhos anteriores, assim como suas respectivas leituras, ficou claro a ideia sobre o produto que desejava desenvolver e aplicar, ou seja, o uso de uma ferramenta tecnológica de fácil acesso (para alunos e professores) e que através desta, pudesse potencializar a aprendizagem por meio de técnicas pautadas em uma teoria de aprendizagem.

Em 2019, a ideia consistia em usar apenas a realidade aumentada através de smartphone com o sistema operacional Android e o aplicativo AR Solar System (Figura. 1.2).

Figura 1.2.: Imagem do Sistema Solar em Realidade Aumentada reproduzida pelo aplicativo AR Solar System (disponível apenas para sistema operacional Android).



Fonte: do próprio autor

Para manter a identidade docente, o objeto de conhecimento escolhido foi a Gravitação Universal, mais especificamente, discussões sobre o movimento planetário do sistema heliocêntrico segundo as leis de Kepler aplicadas na programação de rotina do aplicativo. Seria desenvolvido também um aplicativo similar na plataforma Unity, porém o tempo não era suficiente para adquirir conhecimento técnico para que ele fosse desenvolvido e testado, sendo assim, nos limitamos primeiramente ao resultado obtido com este, sendo uma unidade de ensino potencialmente significativa. Com o *Lockdown*, devido à pandemia de Covid-19, a aplicação de um produto se tornou difícil, mas foi realizada em 2022 após a regulamentação das aulas presenciais. No entanto, este mesmo cenário, acelerou o desenvolvimento tecnológico na área de disrupção digital e a popularização de novas tecnologias e plataformas como o uso de óculos de realidade virtual e outros aplicativos de realidade aumentada.

2. PRESSUPOSTO TEÓRICO

O século XX foi marcado pelo desenvolvimento das mais importantes teorias que norteiam a educação e o sistema educacional contemporâneo. Entre essas, esta dissertação de mestrado se fundamenta em três pilares que considero fundamentais para a proposta de produto educacional bem como sua aplicação. A teoria humanista de Carl Rogers (1902-1987) que propõe uma abordagem centrada na pessoa, neste caso, o aluno, Jean Piaget (1896 - 1980) e sua teoria sobre o desenvolvimento cognitivo dividido em etapas que precisam ser respeitadas dentro do processo ensino- aprendizagem e Lev Vygotsky (1896-1934) e seu conceito de mediação para desenvolvimento cognitivo pautado no contexto social e cultural do indivíduo.

2.1. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICANTE DE ROGERS

Sendo um pouco diferente da proposta de Asubel (1968), que considera apenas os aspectos cognitivo, afetivo e psicomotor do indivíduo, para que a aprendizagem seja significativa, Rogers (1969) considera o aluno como pessoa e como um todo (pensamento, sentimento e corpo físico) e isto também nos remete ao contexto social e temporal deste. Ele acreditava que o ser humano, em especial, tem uma forte tendência a se atualizar e a se esforçar de modo contínuo, sendo este indivíduo considerado típico ou atípico (PNE¹). Desse modo, o ser humano constrói pouco a pouco quem realmente é para que se sinta realizado. Para Rogers, o professor deve ser um facilitador e um incentivador na aprendizagem do aluno e, assim como o aluno, o professor também é uma pessoa com sentimentos e problemas e isto pode influenciar no resultado da aprendizagem ou na construção de determinadas estruturas cognitivas. Um dos princípios fundamentais para a aprendizagem, segundo Rogers, é que o indivíduo tem uma potencialidade natural para aprender. Ao observarmos o desenvolvimento de crianças em idade pré-escolar, verificamos que a vontade que demonstram em aprender situações novas é muito grande, e que o desempenho e a vontade de ir à escola, representa um momento de alegria e realização. A fase de encantamento ou simplesmente o “Thauma” segundo Sócrates. Toda mudança na organização do nosso meio ou daquilo que consideramos paradigma traz um desconforto e temos uma tendência natural da resistência ao novo. No contexto contemporâneo, as mudanças acontecem a toda hora. A pessoa que consegue assimilar com uma rapidez maior as novas concepções certamente terá uma facilidade maior na interação com o meio em que vive.

¹ Portador de Necessidades Especiais

São curiosos a respeito do mundo em que vivem, até que, e a menos que, tal curiosidade seja entorpecida por nosso sistema educacional. São ambivalentemente ansiosos de desen-volver-se e de aprender. A razão da ambivalência está em que toda aprendizagem significativa envolve certa quantidade de dor - sofrimento ligado à própria aprendizagem ou angústia associada a certas aprendizagens preliminares por que se passou. (Rogers, 1972, p.154)

Pela concepção de Rogers, o aluno e o professor precisam aprender a aprender, pois as mudanças ocorrem a todo o momento, e aquilo que ele possa ter aprendido na escola não terá validade integral por muito tempo.

Ao contrário, a educação deveria buscar aprendizagens relevantes, de longa duração, que alterassem para sempre nossa apreciação do mundo, aprofundando-a, ampliando-a, agonizando-a. A esses objetivos poderíamos acrescentar a crítica, ou seja, apreciação crítica do mundo. (Moreira, 2005)

Uma proposta de ensino baseada nas teorias de Rogers oferece grande resistência, em sua implantação, por parte dos pais e dos alunos (em anos finais da educação básica). Numa perspectiva para o ensino em abordagem Rogeriana não existe um currículo pré-determinado e o aluno, a princípio, fica desorientado quanto ao conteúdo ou ao assunto que queira trabalhar. Incomoda, porque “não é o professor que determina” o que se aprende e sim o aluno ou a turma que decidem quanto ao projeto de aprendizagem. Numa unidade de ensino potencialmente significativa Rogeriana, o aluno toma decisões, determina quando, como e o que vai aprender. A responsabilidade pela aprendizagem não recai no professor e sim no próprio aluno. Contudo, ainda existe a mediação explanada mais adiante nesta dissertação e esta traz de volta o aluno a um currículo mínimo em que o que vai importar não é a quantidade de conteúdos que este conseguiu memorizar, mas as habilidades que ele desenvolveu com determinado objeto de conhecimento segundo a proposta da Base Nacional Curricular Comum (BNCC).

O ensino centrado no aluno, tendo o professor como mediador, é ensino em que o aluno fala muito e o professor fala pouco. Deixar os alunos falarem implica usar estratégias nas quais possam discutir, negociar significados entre si, apresentar oralmente ao grande grupo o produto de suas atividades colaborativas, receber e fazer críticas. O aluno deve ser ativo, não passivo. Ele ou ela tem que aprender a interpretar, a negociar significados; tem que aprender a ser crítica(o) e aceitar a crítica. (Moreira, 2010)

As bases progressistas de Rogers ficaram conhecidas como “*Freedom to learn*” (Liberdade para aprender), coincidentemente no mesmo ano em que Postman e Weingartner publicaram *Teaching as a subversive activity* (Ensino como atividade subversiva). Ainda hoje, décadas depois de sua publicação e ante o declínio notório através do interesse do aluno e o desastroso resultado que obtemos ano após ano, nos exames nacionais e internacionais, na escola, os professores e o corpo técnico continuam narrando, dizendo aos alunos o que devem saber e reproduzir nas provas, sejam elas para passar de ano, para aprovar em processos seletivos ou para ingressar nas Universidades.

2.2. TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE PIAGET

Segundo a teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget (1896 - 1980), o “[...] sujeito possui uma arquitetura cognitiva variável (que aprende) e se desenvolve através de funções gerais invariantes – adaptação e organização. [...] A mente é uma estrutura (cognitiva) que tende a funcionar em equilíbrio, aumentando, permanentemente, seu grau de organização e de adaptação ao meio. Quando este equilíbrio é rompido por experiências não assimiláveis, a mente tende a se reestruturar através da construção de novos esquemas de assimilação e atingir novo estado de equilíbrio. Esta reestruturação corresponde ao que Piaget chama de acomodação.” (Moreira, 2016. p.13)

Moreira chama atenção para os esquemas (modelos) de assimilação que o indivíduo constrói para abordar a realidade. Logo, quando o indivíduo aprende, a realidade é incorporada aos esquemas de ação do sujeito.

O mecanismo principal para a reestruturação (acomodação), Piaget chama de Equilíbrio de Majorante e este é o mecanismo que aprimora e evoluem as habilidades cognitivas.

A equilibração majorante é, então, o processo autorregulador que leva a sucessivas melhoras no equilíbrio cognitivo. Cada novo equilíbrio torna o sujeito mais poderoso na habilidade de compreender as características físicas e as relações dos eventos e objetos do meio e de atribuir propriedades causais, lógicas e matemáticas a eles (Ginsburg e Oppen, 1988, p. 223).

O papel do professor segundo a teoria piagetiana seria atuar como elemento desconstrutor de paradigma e promotor do conflito cognitivo, pelo qual o sujeito construirá novos esquemas de assimilação, aumentando a sua carga cognitiva.

Ainda dentro da teoria de Jean Piaget, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo, ocorre de

forma distinta (predominantemente e não canônico) em quatro etapas cronológicas: Sensório- Motor (0 a 2 anos de idade), Pré-Operacional (2 a 7 anos), Operacional Concreto (7 a 12 anos de idade) e Operacional Formal (12 anos em diante).

Quadro 2.1.: Resumo sobre as etapas do desenvolvimento cognitivo.

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO			
Sensório-Motor (0 a 2 anos)	Pré-Operacional (2 a 7 anos)	Operacional Concreto (7 a 12 anos)	Operacional Formal (Acima de 12 anos)
Evolução da percepção e motricidade.	Interiorização dos esquemas de ação. Surgimento da Linguagem do simbolismo e da imitação deferida.	Construção e desconstrução cognitiva. Compreensão da reversibilidade sem coordenação dela. Classificação, seriação e compreensão simples.	Desenvolvimento de operações lógicas matemática e inferenciais, da compreensão complexa (razão) e da probabilidade (indução de leis).

Fonte: (Piaget, 1967)

2.3. TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY

Dentro da teoria de Lev Vygotsky encontra-se o principal motivo para o desenvolvimento do produto educacional proposto neste projeto de pesquisa para dissertação de mestrado.

A teoria Vygotskyana amplia a visão Piagetiana através da interação sócio-histórico-cultural do indivíduo destacando o papel fundamental da linguagem como mediadora para a construção de um modelo simbólico que recrie a realidade em sua psique.

Para o desenvolvimento de uma habilidade cognitiva (Vygotsky não usava este termo), o indivíduo precisa se submeter a interação com outros, indivíduos, culturas e me atrevo a destacar segundo a mesma visão, as tecnologias. Este contato gera a esperada quebra de paradigmas que permitem a recriação de novas linguagens, códigos e símbolos, assim como novos esquemas de assimilação são incorporados à realidade dele.

Mediação, Instrumento, Signo e Símbolo, são os principais elementos que dialogam na teoria Vygotskyana e fundamentais para entendermos a zona de desenvolvimento proximal (ZDP).

A interação social é o veículo fundamental para a transmissão dinâmica (de inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórica e culturalmente construído. Essa interação implica um mínimo de duas pessoas intercambiando significados; implica também um certo grau de reciprocidade e bidirecionalidade entre os participantes desse intercâmbio, trazendo a ele diferentes experiências e conhecimentos, tanto em termos qualitativos como quantitativos. Crianças, adolescentes, adultos, moços e velhos, geralmente não vivem isolados; estão permanentemente interagindo socialmente em casa, na rua, na escola, no trabalho. Vygotsky considera esta interação fundamental para o desenvolvimento cognitivo e linguístico de qualquer indivíduo. (Moreira, 2016. p.20)

2.3.1. A MEDIAÇÃO

Segundo Amorim: “[...] mediação é o processo de intervenção de um elemento intermediário numa relação onde a relação deixa de ser direta e passa a ser mediada por esse elemento. Garton ainda define que “é através da mediação que se dá a internalização (reconstrução interna de uma operação externa) de atividades e comportamentos sócio-históricos e culturais” (Amorim, 1992, p. 89).

A mediação destacaria como similar ao que Piaget nomeia Equilibração de Majorante, pois é o mecanismo pelo qual a acomodação é viabilizada através da conversão das interações sociais em funções mentais superiores. A iconografia apresentada na subseção 2.3.3. exemplifica melhor esse processo.

Vygotsky ainda ressalta o uso da linguagem instrumental e uso de signos para a internalização de um saber potencial.

2.3.2. INSTRUMENTOS E SIGNOS

Os instrumentos são os objetos que usamos para executar uma função, já os signos, constituem elementos da linguagem que utilizamos para reconstruir internamente de uma operação externa, a exemplo das funções horárias (signos) que transcrevemos na lousa (instrumento), a fim de reconstruir abstratamente, um modelo que permita o estudante reconhecer características dos movimentos de objetos e partículas.

Moreira ainda destaca três tipos de signos: Indicadores - usados para destacar ou reforçar uma informação; Icônicos - desenhos que mostram o significado dos signos; Simbólicos - têm uma relação abstrata com o que significam como por exemplo, o uso de segmento de retas orientados para significar

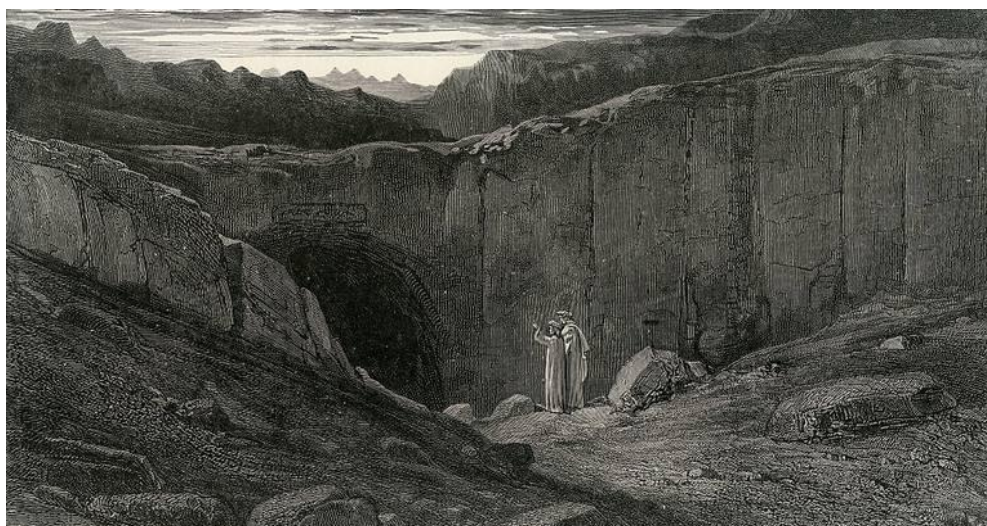
os vetores.

2.3.3. ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)

Para Ostermann e Cavalcanti (2011), o conceito Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é o diferencial na teoria de Vygotsky. A ZDP é definida como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido através da solução de problemas sob orientação de alguém (um adulto, no caso de uma criança) ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 1988, p. 97)

Podemos visualizar a aplicação prática da teoria de Vygotsky na iconografia a seguir, que representa o canto III em “Divina Comédia” de Dante Alighieri:

Figura 2.1: Portões do Inferno no Inferno, ilustrado por Gustave Dore.



Fonte: Disponível em <https://study.com/academy/lesson/dantes-inferno-quotes-about-god.html> (acessado em 27/12/2022)

Na iconografia, observamos um diálogo às portas do inferno (Saber Atual) entre as personagens Dante (estudante) e Virgílio (mediador). Há uma placa (instrumento) escura com a inscrição (signo): “Deixai, ó vós que entraís, toda a esperança!”. Nitidamente percebemos o desconforto de Dante ao ser questionado por Virgílio acerca da inscrição.

“Pela mão me travando diligente, Com ledo gesto e coração me erguia,

E aos mistérios guiou-me incontinenti.” (CANTO III - DIVIINA COMEDIA – ALIGHIERI (2011))

Percebemos no fragmento o papel do mediador agindo na ZDP e conduzindo o estudante ao local do Saber Potencial, onde novas interações o levaram a habilidades cognitivas superiores.

De igual modo destaca o papel do mediador nas ficções alegóricas “Alice no País do Quantum” (GILMORE, 1998) e “Como ensinar Física ao seu cachorro” (ORZEL, 2010), sendo no primeiro, na figura do Gato de Schroedinger presente no capítulo 4 e o segundo, o próprio autor em diversos diálogos com sua cadela Emmy.

Figura 2.2.: Diálogo de Alice com o Gato de Schrödinger sobre estados quânticos na encruzilhada.



Fonte: Alice no País do Quantum. p. 66.

"Gato", disse ela, timidamente. "Poderia me dizer que caminho devo tomar?"
 "Isso depende muito de onde você quer chegar", disse o Gato. "Não sei bem onde...", ela começou.
 "Então, não importa por onde você for", interrompeu o Gato. "Mas eu preciso decidir entre os dois caminhos", disse Alice. "Ora, é aí que você se engana", sorriu o Gato."

(CAPÍTULO 4 – ALICE NO PAÍS DO QUANTUM (GILMORE, 1998. p. 66)

“O que me diz de: ‘Interferência é como quando se coloca um esquilo no quintal e depois se coloca um cachorro no quintal, depois coloca um segundo esquilo no quintal e um minuto depois não tem mais um esquilo no quintal?’”

“Isso não é interferência, é perseguição, à caça. Interferência tem mais a ver com colocar um esquilo no quintal e depois colocar um segundo esquilo no quintal um segundo depois e descobrir que não há esquilo algum. Mas se esperar dois segundos antes de colocar o segundo esquilo, encontrará quatro esquilos.” (Orozel, 2010 p.15)

Em ambos os trechos das narrativas, o diálogo entre educando e educador (figurativos) discorre na ZDP de quem está a aprender tendo a mediação de um tutor, o elemento facilitador por meio da intervenção para o desenvolvimento cognitivo deste na compreensão do evento através da quebra de paradigmas.

2.4. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL SOB O OLHAR DE MARCO ANTONIO MOREIRA

Como já mencionado anteriormente, há uma singela diferença entre os processos de aprendizagem analisados por Rogers (1969) e Ausubel (1968). Para este a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação ou conteúdo interage como conhecimento prévio, ao qual chama de subsunçor, atribuindo a este um novo paradigma baseado na ancoragem hierárquica de conceitos, conforme o desenvolvimento cognitivo do educando iniciando em habilidades simples às mais complexas de acordo com o nível de experiência sensorial.

Moreira afirma que:

Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servindo de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto, este processo de "ancoragem" da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor. Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos, ou limitados e pouco desenvolvidos, dependendo da frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor. (Moreira, 2006, p. 15-16).

A metodologia ativa apresentada por David Ausubel, não tira o mérito do método expositivo,

mas, se apresenta como um continuum entre o que chama de aprendizagem mecânica e significativa. Logo, é necessária sim a exposição de leis que foram fruto de observação ao longo de décadas, mas também, a ativação das emoções que atribuíram novos significados ao paradigma do aluno, que no caso deste trabalho, se refere ao movimento dos corpos celestes. Para este papel de facilitador e ferramenta para alcançar o objetivo, Moreira propõe ainda à criação e uso de materiais potencialmente significativos dentro do que chama de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que por sua vez, deve estar contido em uma Sequência Didática que obedeça a hierarquia de habilidades cognitivas.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que idéias simbolicamente expressas sejam relacionadas, de maneira substântiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, algum aspecto de sua estrutura cognitiva especialmente relevante (isto é, um subsunçor) que pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição já significativa. (Ausubel, 1978, p. 41)

Dentro desta proposta, ainda temos a possibilidade de medir o tipo/nível de aprendizagem, podendo esta, mesmo sendo significativa representacional, quando envolve a aquisição de novos significados para símbolos unitários; pode ser significativa em conceito ou proposicional também, quando novos conceitos ou proposições são assimilados de forma superordenada ou combinatória.

2.5. FUNDAMENTAÇÃO BASE

Esta dissertação de mestrado baseia-se na análise do processo de aprendizagem, seja na perspectiva do educando, que deve ser significativa, ou em uma análise centrada no indivíduo (professor e aluno), que leva em consideração as experiências sensoriais e o estímulo condicionado para o querer aprender com liberdade e o estímulo à recompensa neuro hormonal. O objetivo é a assimilação conceitual e proposicional superordenada em escala hierárquica conforme melhor exposta mais adiante dentro da Base Nacional Curricular Comum e na Matriz de Referência do Exame Nacional do Ensino Médio. Para isso, essa proposta de produto utiliza as propostas adjacentes de mediação e desenvolvimento cognitivo do aluno.

3. CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS.

A presente dissertação propõe uma unidade de ensino potencialmente significativa para a Gravitação Universal.

Este capítulo é dedicado à explanação conceitual deste assunto.

Um dos mais antigos objetivos da física é compreender a força gravitacional, a força que nos mantém na superfície da Terra, que mantém a Lua em órbita em torno da Terra e que mantém a Terra em órbita em torno do Sol. Ela também se estende a toda a Via Láctea, evitando que se dispersem os bilhões e bilhões de estrelas e incontáveis moléculas e partículas isoladas que existem em nossa galáxia. (Halliday – Resnick – Walker 2014 . p. 28)

O objetivo do estudo da gravitação é propor um modelo que explique o movimento de objetos próximos da Terra, no Sistema Solar e ao longo de todo o universo e isso parecia um pouco perigoso ante os dogmas da igreja católica do século XVI. Tal questionamento levou a Giordano Bruno (1548 – 1600) à fogueira da inquisição e Galileu Galilei (1564 – 1642) ao tribunal do Santo Ofício.

Com a consolidação dos alicerces Newtonianos (1687) e as proposições antecessores de Johannes Kepler (1571 – 1630) e Nicolau Copérnico (1473 – 1543), tornou-se insustentável a crença em um modelo planetário geocêntrico e o “Terraplanismo” sugerido em diversas citações bíblicas. No entanto, é lamentável ver que, três séculos depois, voltamos às mesmas discursões ante o obscurantismo científico que hoje, tornou-se latente e perigoso. No entanto, no cenário Brasileiro, a BNCC estimula a reversão deste cenário propondo a seguinte habilidade em sua matriz:

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. (BNCC)

Com isto, o professor de física deverá estimular o debate analisando os contrapontos e o que faz sentido do ponto de vista científico: O que diz as obras originais, o que ele vê através de simulações computacionais baseada em dados reais e o que a mídia tendenciosa propaga em canais não científicos.

3.1. OS MODELOS PLANETÁRIOS

“As primeiras observações sistemáticas dos fenômenos e movimentos de corpos celestes, ocorreram, provavelmente nas cidades estados da Babilônia e em Nínive no início das civilizações na Grécia Antiga em 3000 a.C.” (BASSALO, 1990) e sendo as mesmas feitas por sacerdotes, remontam a ciência helênica marcada por explicações míticas ou que remetem a deidades. No entanto, devemos destacar algumas descobertas relevantes feitas neste período de alguns séculos:

- A descoberta de Mercúrio e Vênus
- A descoberta dos Ciclis dos eclipses Solares e Lunares (Saros)
- As tabelas de efemérides¹
- A precessão dos equinócios
- A esfericidade da Terra (Pitágoras de Samos)

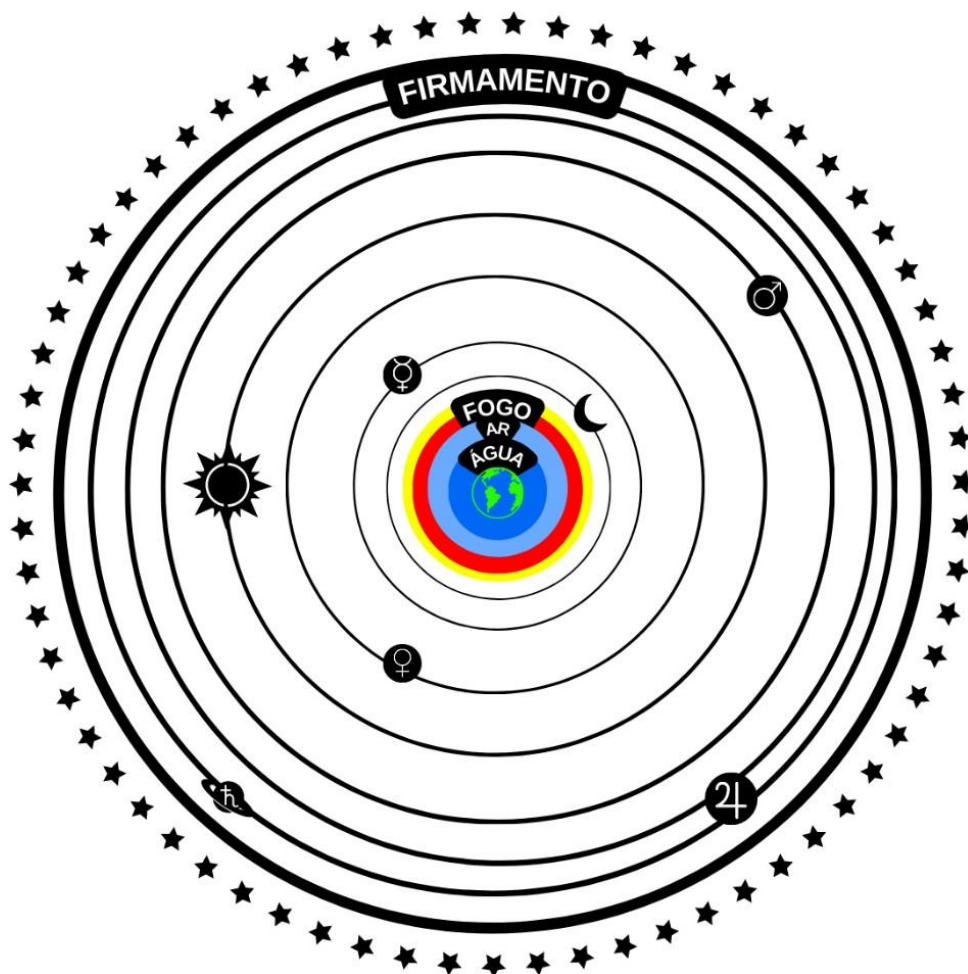
A partir destas e outras observações sistemáticas rudimentares é que foi possível a proposição de modelos.

3.1.1. O MODELO DE PLATÃO DE ATENAS (a. C. 427 – a. C. 347)

Neste modelo proposto nos famosos diálogos Timeu, A República e Epinomis, a Terra era imóvel e envolvida por quatro capas esféricas (Figura 3.1). A primeira, de espessura igual a dois raios terrestres, era composta do elemento água. A segunda era composta do elemento ar, com a espessura de cinco raios terrestres, constituindo a atmosfera. Em seguida, há uma camada do elemento fogo de dez raios terrestres, tendo em sua parte superior a quarta capa esférica na qual se encontravam as estrelas. Os sete planetas então conhecidos evoluíam entre a atmosfera e as estrelas. Cada planeta possuía dois movimentos circulares uniformes: uma rotação diária de leste para oeste em torno dos polos da eclíptica (caminho percorrido pelo Sol) de oeste para leste. (Bassalo, 1990)

¹ Registro das posições da Lua, do Sol e dos planetas em dado momento

Figura 3.1.: Modelo de Platão.



Fonte: adaptação do próprio autor

O modelo de Platão, apesar de reproduzível, ainda não explicava o movimento retrogradados planetas, chamados assim devidos sua trajetória errante - *ásteres planetai*.

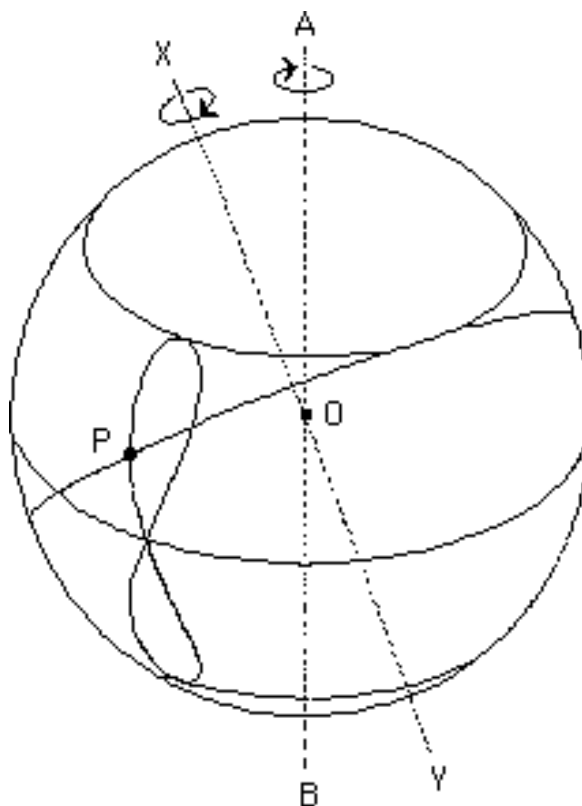
3.1.2. O MODELO DE EUDOXO DE CNIDO (a. c. 408 – a. c. 355)

Neste ensaio, segundo BASSALO (1990), o movimento dos astros no Universo era justificado como consequência da existência de um conjunto de 27 esferas homocêntricas à Terra, seguindo o esquema (Figura 3.2):

- Quatro para cada planeta até então conhecido (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno);
- Três para o Sol, três para a Lua.

- Um para as estrelas fixas.

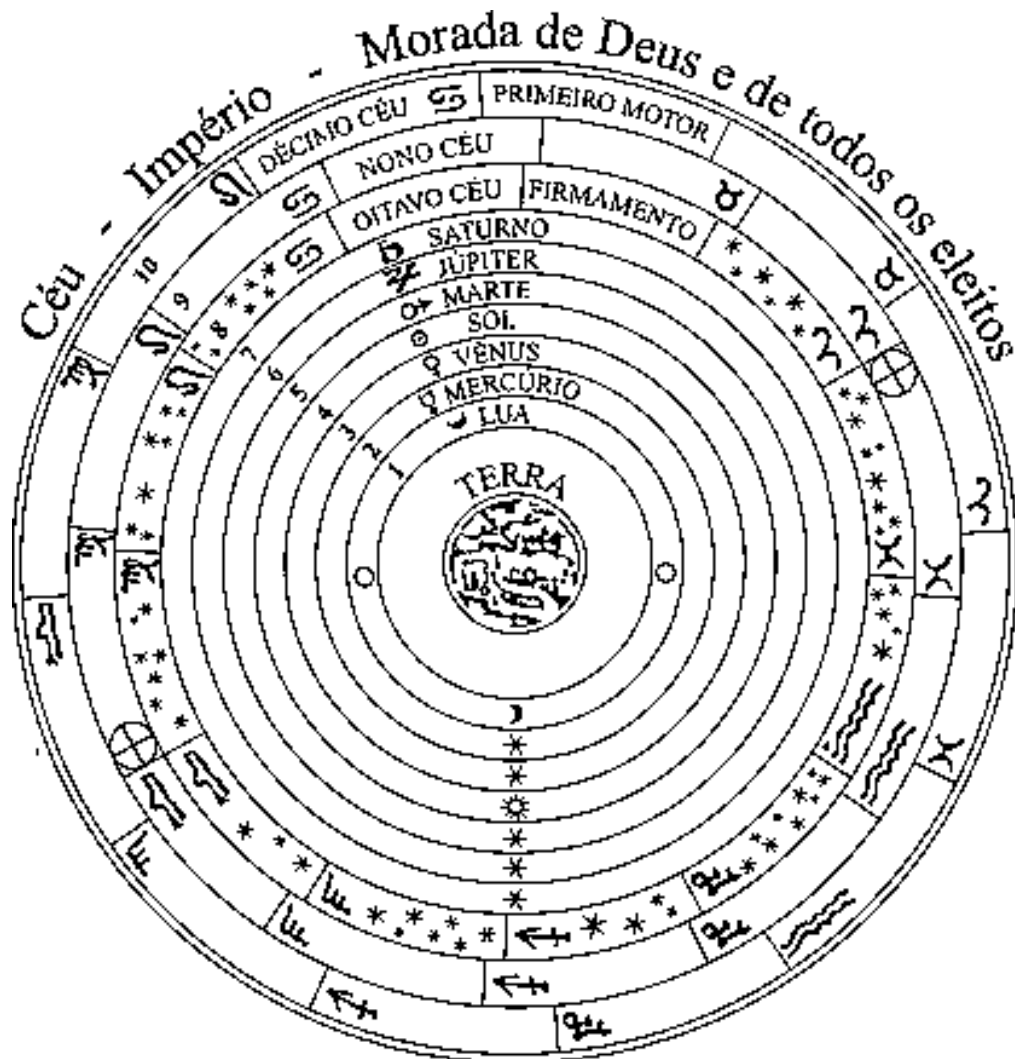
Figura 3.2.: O modelo de Eudoxo.



Fonte: disponível em <http://www.ime.unicamp.br/~sandra/CCA/history/eudoxo/eudoxo.html>
(acesado em 25/12/2022)

Este modelo foi aperfeiçoado por Calipo de Cízico (a. C. 370 – a. C. 300) com a inclusão de mais oito esferas na tentativa de justificar o movimento retrogrado de Mercúrio e Vênus e posteriormente por Aristóteles de Estagira (a.C 384 – a. C. 332) no livro II de Sobre os Céus, incluía mais vinte esferas, que, em sua concepção, serviam para impedir que o movimento circular fosse transmitido para os planetas vizinhos (Figura 3.3), além de, o que tudo indica (BASSALO, 1990), era adepto da esfericidade da Terra e do modelo platônico.

Figura 3.3.: Gravura medieval conforme a proposta Aristotélica.



Fonte: disponível em <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> (acessado em 25/12/2022)

3.1.3. O MODELO GEO-HELIOCÊNTRICO

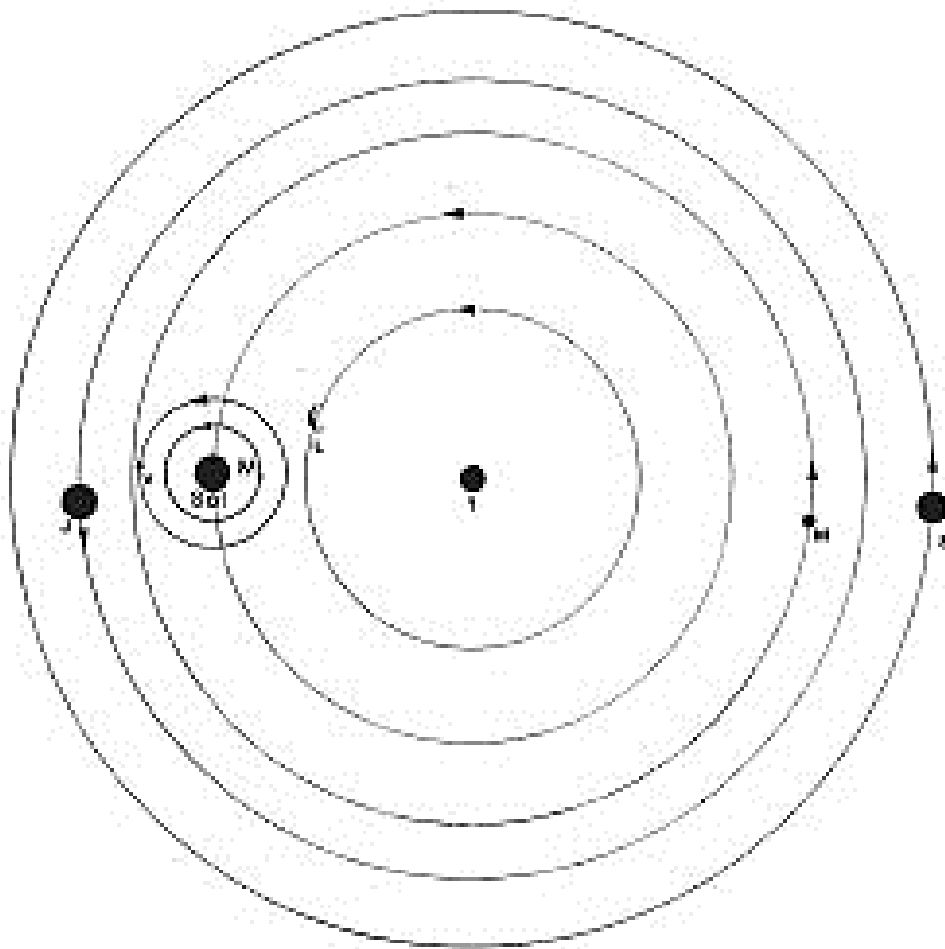
Apesar de engenhosos, os modelos pré-newtonianos possuem falhas por se tratar sempre de pressupostos empíricos e assim como os demais, a proposta Aristóteles-Calipo-Eudoxo falha em três aspectos:

- Não justifica por que os planetas se tornam mais brilhantes em seus movimentos retrógrados.

- Não justifica por que havia variação na velocidade dos planetas em suas órbitas.
- Não justificada porque havia afastamentos limitados para Mercúrio ($\sim 24^\circ$) e Vênus ($\sim 48^\circ$) a partir do Sol.

Para retificar as fissuras do modelo anterior, Heraclides de Pontos (a.C. 388 – a. C. 310) propõe que Mercúrio e Vênus giravam em torno do Sol, enquanto os demais e a Lua, em torno da Terra que neste, já não é imóvel, mas gira em torno do seu próprio eixo (Figura 3.4).

Figura 3.4.: modelo de Heraclides



Fonte: disponível em https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Modelo-hibrido-de-Heraclides-de-Ponto-chamado-de-sistema-egipcio_fig7_273110970 (acessado em 25/12/2022)

Dos três, principais questionamentos aos modelos de esferas anteriores ao de Heraclides, um ainda continuava sem justificativa: o brilho variável dos planetas em seu movimento retrogrado.

3.1.4. O MODELO GEOCÊNTRICO DE PTOLOMEU

A inquietação grega que movia o filósofo a explicar o movimento de corpos celestes viveu um seu auge no séc. III a.C., tendo um hiato de cerca de trezentos anos, retornando no início do séc. II d. C. em Alexandria (Egito).

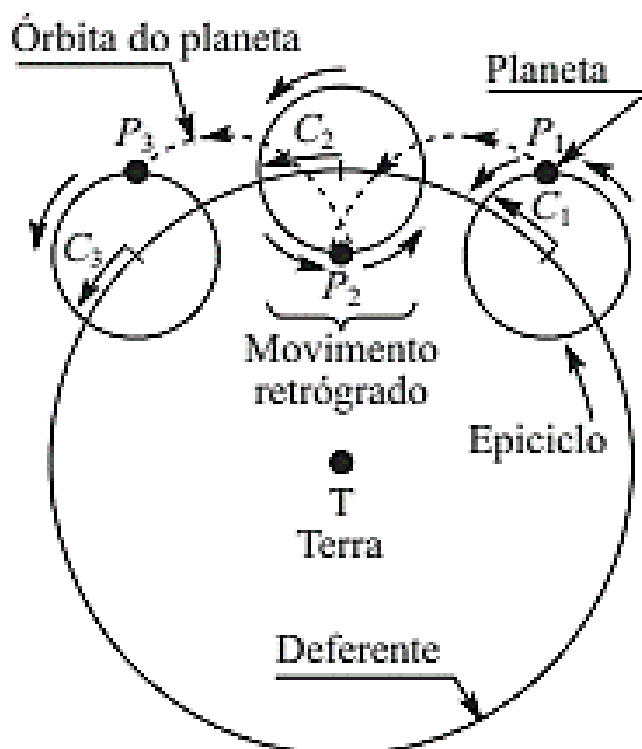
Não afirmo que os estudos de medições astronômicas tenha arrefecido, mas a tentativa de explicar o movimento aparente dos corpos celestes. Tanto que se registra Hiparco de Niceia (190 a.C. – 120 a. C.) como figura de transição entre os estudos babilônicos e a astronomia científica (baseada em medidas e previsões matemática e no empirismo) e os oito volumes sobre secções cônicas: elipse, parábola e hipérbole escritos por Apolônio de Perga (c. 261 - c. 190). Tais secções são obtidas ao cortar-se um cone sob determinados ângulos: elipse, se o corte for inclinado ao eixo; parábola, se for paralelo à geratriz; e hipérbole, se o corte for paralelo ao eixo (Bassalo, 1990).

Apolônio aplica a trigonometria a seu modelo que usa um sistema epiciclo-deferente. Diferente de Eudoxo que usava esferas concêntricas em seu sistema planetário, Apolônio propõe um sistema em que o centro de um círculo menor (epiciclo) se desloca ao longo de um círculo maior (deferente).

O epiciclo representa o movimento circular do planeta e o deferente é um círculo em cujo centro situa-se o astro em torno do qual órbita o planeta. Em seu modelo planetário, Apolônio considerava os planetas girando em torno do Sol, e este, por sua vez, girava em torno da Terra, antecipando-se de dezoito séculos ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) que formulou hipótese semelhante (Bassalo 1990. p. 74).

Tais registros foram feitos por Ptolomeu de Alexandria (100 d. C. – 169 d. C.) em seu *Almagesto* (Figura 3.5).

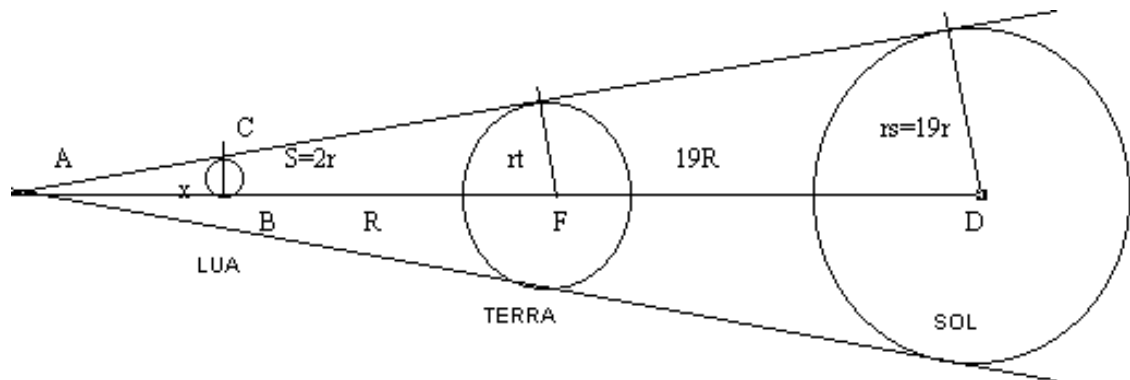
Figura 3.5.: Sistema de Ptolomeu – Apolônio.



Fonte: disponível em <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> (acessado em 25/12/2022)

3.1.5. O HELIOCENTRISMO DE COPÉRNICO

Como exposto na seção anterior, Ptolomeu apenas defende em seu *Almagesto*, um sistema planetário heliocêntrico, que de fato, é a coletânea de um pouco mais de dois séculos de estudo, desde Aristóteles à Hiparco de Niceia e Apolônio de Perga. Embora encontremos um fixismo teórico nos livros de ensino médio que atribuem o modelo a um único teórico. O mesmo ocorre com o geocentrismo atribuído exclusivamente ao renascentista Nicolau Copérnico (1473 – 1543). Contudo o astrônomo grego Aristarco de Samos (c. 32 - c. 250), ao que tudo indica (Bassalo, 1990) por volta de 260 a.C., propõe um modelo que admite a Terra girando em torno do Sol, mas os arquivos originais se perderam no incêndio da biblioteca de Alexandria (48 a.C.), restando apenas citações de Arquimedes de Siracusa (287 a.C – 212 a. C.) em seu texto **A Ampulheta** e do biólogo Plutarco (46 d.C. – 120 d. C.), além da obra **Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua**, feitas usando os conhecimentos geométricos de Tales de Mileto e do matemático grego Euclides de Alexandria (c. 325 - c. 285) (BASSALO, 1990).

Figura 3.6.: aplicação de geometria euclidiana feita por Aristarco de Samos

Fonte: Aristarco de Samos, Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua. (Machado, 2016, p. 60).

Em sua proposta, Aristarco admitia movimentos circulares para corpos celestes e determinou as distâncias Terra-Sol e Terra-Lua, bem como a relação entre os diâmetros desses três astros. Aristarco percebe que o tempo que a sombra da Terra leva para ocultar a lua, era aproximadamente a metade do tempo de duração de um eclipse lunar total e isso o direcionou ao entendimento de que o raio da Terra era três vezes maior que o da Lua por semelhança de triângulos conforme observado na **Figura 3.6.**

Baseado no mesmo raciocínio, mediu a distância Terra-Sol e inferiu que o raio do Sol sendo muito maior que o da Terra, obrigaria a este ser o centro deste sistema. No entanto, as medidas se mostraram deficientes e incorretas conforme se verifica na **Tabela 5.1.**

TABELA 5.1.: COMPARAÇÃO DE MEDIDAS

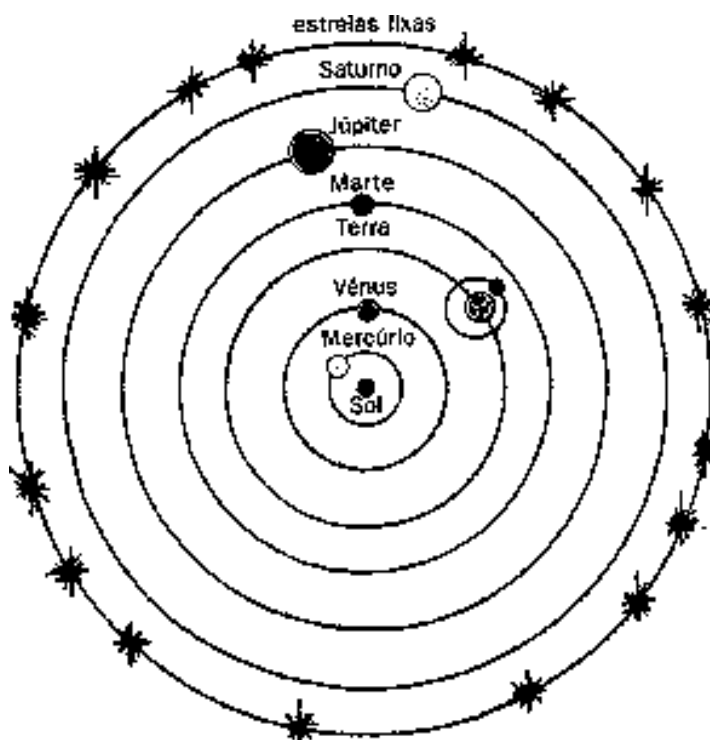
	Aristarco	Atual
distância do Sol / distância da Lua	19	389
distância do Sol / raio da Terra	6,7	109
distância do Terra / raio da Lua	2,8	3,7

Fonte: Aristarco de Samos, Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua. (Machado, 2016, p. 60).

Em 1530, o astrônomo renascentista polonês Nicolau Copérnico apresenta um modelo matemático em sua obra subversiva **Das Revoluções dos Corpos Celestes**, que reúne dados de 30 anos

de pesquisa e medidas, mas nenhuma prova observacional e isto não tornava seu modelo melhor que o defendido por Ptolomeu. Ao contrário da concepção que temos hoje, a obra caiu no obscurantismo medieval, sufocada pela Teocracia dos monarcas e os desmandos da igreja católica e assim permaneceu por cerca de duzentos anos com a circulação de apenas 500 cópias, até que Galileu Galilei (1564 – 1642) e Johannes Kepler (1571-1630) assimilassem a teoria copernicana (Figura 3.7), aprimorando-a e introduzindo as provas observacionais que faltavam.

Figura 3.7.: Modelo Heliocêntrico de Copérnico.



Fonte: disponível em <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> (acessado em 25/12/2022)

Apesar de não mencionar Aristarco de Samos, ou por desconhecimento ou pelo descrédito das medidas, não há confirmação documental, Copérnico acaba chegando em um modelo muito parecido, porém com mais círculos que coincidem com os seus centros no modelo de Ptolomeu. Destaco a seguir as principais características:

- O movimento dos astros é uniforme, eterno e circular;

- O centro do Universo não é a Terra, mas um ponto próximo do Sol;
- A Terra possui três movimentos: a rotação diária em torno do seu eixo, a revolução anual ao redor do Sol e a inclinação anual do seu eixo (explicada posteriormente por Newton);
- A nova ordem planetária a partir do centro (o Sol): Mercúrio, Vênus, Terra (com a lua girando em seu redor, Marte, Jupiter, Saturno e as estrelas fixas em uma abóbada.
- O movimento retrogrado dos planetas era explicado pelo próprio movimento da Terra;
- A distância entre a Terra e o Sol é pequena se comparada a distância com as estrelas fixas.

3.2. AS LEIS DE KEPLER

Como explanado anteriormente, **Das Revoluções dos Corpos Celestes** não trazia provas observacionais que justificasse o movimento retrogrado dos planetas, como exemplificado na Figura 3.8. que mostra a trajetória de Marte em relação as estrelas da constelação de capricórnio durante o ano de 1971.

Figura 3.8.: Trajetória de Marte no ano de 1971



Fonte: HALLIDAY RESNICK; KRANE (2014).

Baseado em dados astronômicos coletados pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 – 1601), último astrônomo a fazer observações sem o uso de telescópio (HALLIDAY; RES-NICK; KRANE, 2014), Johannes Kepler formulou leis empíricas (fruto de observação, sem nenhuma teoria para apoiá-las) sobre o movimento dos planetas. Essas leis mostram que, em relação ao Sol, os planetas apresentam uma série de regularidades e que seus movimentos são muito mais simples de serem descritos em relação ao Sol do que em relação à Terra. Essas leis tiveram grande importância para a

substituição do modelo geocêntrico pelo heliocêntrico.

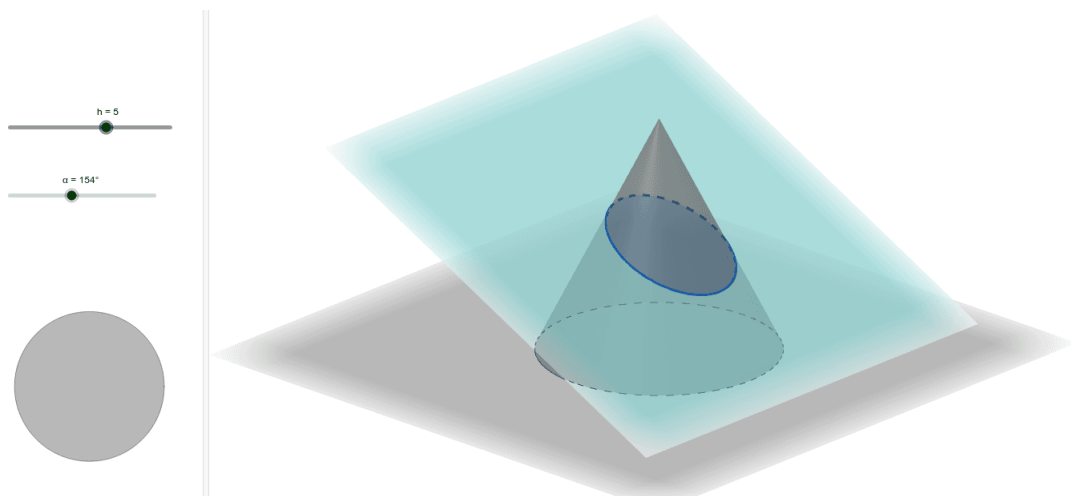
Anos depois de Kepler formulá-las, Isaac Newton (1643 – 1727) as utilizou como base experimental para a formulação da sua teoria da gravitação e pôde "explicá-las" teoricamente. E, apesar de hoje possuírem apenas um interesse histórico, vale a pena conhecê-las.

3.2.1. LEI DAS ORBITAS

Todos os planetas se movem em orbitas elíptica, com o Sol em um dos focus (Halliday; Resnik; Krane, 2014)

Toda tentativa de explicar o movimento dos corpos celestes, baseavam-se em movimento circulares uniformes, mas havia o desenvolvimento da matemática paralelo a construção dos modelos. Como já mencionado anteriormente, Apolônio de Perga escreve sobre as secções cônicas e a elipse é obtida quando um plano corta a geratriz de um cone conforme a Figura 3.9.

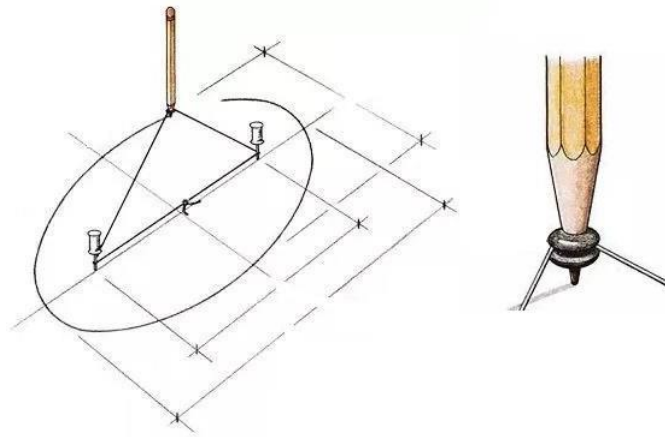
Figura 3.9.: Elipse gerada com Geogebra



Fonte: Criado pelo autor em <https://www.geogebra.org/>

Para entender melhor, recomenda-se o seguinte experimento que traça uma elipse em um plano (papel) conforme a Figura 3.10.

Figura 3.10.: Desenhando uma elipse



Fonte: Adaptada pelo autor de imagem disponível em <https://pt.quora.com/Como-desenhar-uma-elipse-com-precis%C3%A3o-em-um-jardim> (acessado em 27/12/2022)

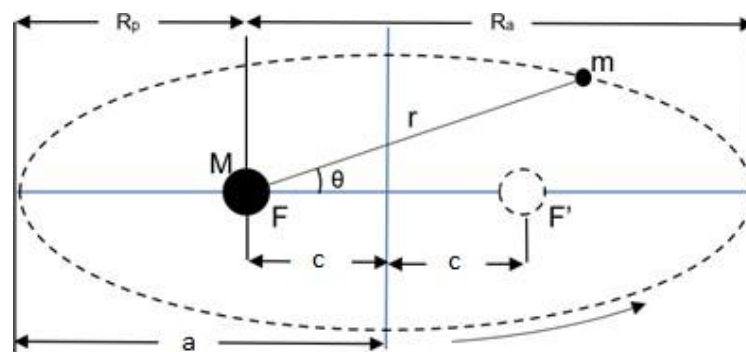
- Pendam dois alfinetes (ou pregos) sobre uma prancha de madeira (Figura 5.10);
- Amarre as extremidades de um barbante aos alfinetes, e, com um lápis, trace uma curva mantendo o barbante sempre esticado;

- Está pronta a elipse; os pontos onde estão os alfinetes são os seus focos;

Se você aproximar os focos (os alfinetes) observará que a elipse fica cada vez mais parecida com um círculo. As órbitas dos planetas são assim. Com os focos muito próximos e quase circulares.

Na Figura 3.11 observa-se na órbita elíptica de um planeta o semieixo maior “ a ” e a excentricidade “ e ”.

Figura 3.11.: órbita elíptica



Fonte: Adaptado pelo autor de HALLIDAY RESNICK; KRANE (2014).

Sendo “ a ” é o semieixo maior de uma elipse e “ c ” a semidistância focal conforme a **Figura 3.10**, a razão $e = c/a$ chama-se excentricidade da elipse. Para $e = 0$, a elipse degenera num círculo; quanto maior for e , mais “achatada” a elipse.

Tabela 3.2 – excentricidade dos seis planetas conhecidos por Kepler a partir dos dados coletados.

Planeta	e
Mercúrio	0,206
Vênus	0,007
Terra	0,017
Marte	0,093
Júpiter	0,048
Saturno	0,056

Fonte: NUSSENZVEIG, 2013. - Curso de física básica, V1. p. 240.

A Tabela 3.2. mostra os valores de “ e ” para as órbitas dos planetas conhecidos na época de Kepler. Segundo Nussenzveig:

Embora a de Mercúrio seja mais excêntrica, havia poucas observações de Mercúrio disponíveis. A órbita de Marte, utilizada por Kepler, era a mais excêntrica depois da de Mercúrio. Além de verificar que a órbita de Marte não é circular, Kepler também percebeu através de suas observações que o movimento do planeta ao longo da órbita não é uniforme: a velocidade é maior quando ele está mais próximo do Sol. Kepler procurou entender estes resultados em termos de uma ação do Sol como causa dos movimentos dos planetas (Nussenzveig, 2013).

Para propor uma explicação, ao que tudo indica Kepler:

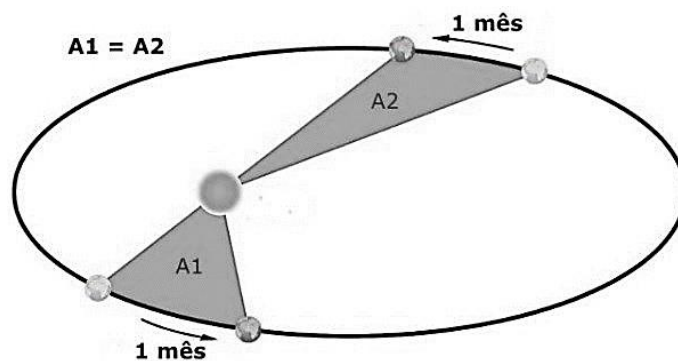
imaginou um modelo extremamente peculiar, em que o Sol teria uma rotação em torno de seu eixo e emitiria raios, confinados somente ao plano da órbita, que atuariam lateralmente sobre o planeta, “varrendo-o” em torno da órbita. Imaginou assim uma “força” que teria todas as características erradas: confinada ao plano da órbita, tangencial à órbita em lugar de central, e supôs ainda que variasse inversamente com a distância. (Nussenzveig, 2013).

3.2.2. LEI DAS ÁREAS

Como várias vezes ocorreu, durante o desenvolvimento da Física, Kepler usou um modelo equivocado e “miraculosamente”, partindo de medidas erradas (resultados), no que se refere a área varrida pelo segmento de reta que liga a Terra ao Sol, chega a proposição de uma lei correta: “A reta que liga a planta ao Sol varre áreas iguais no plano da orbita do planeta em intervalo de tempos iguais, ou seja, a taxa de variação dA/dt da área com os tempos é constante” (Halliday; Resnik; Krane, 2014)

Assim, num dado intervalo de tempo t , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol); conforme a Figura 3.12.

Figura 3.12.: representação gráfica da 2ª lei de Kepler



Fonte: disponível em <https://www.todamateria.com.br/leis-de-kepler/> (acesado em 26/12/2022)

A segunda lei propõe que o planeta não se move em movimento uniforme, como mencionado anteriormente na análise da Tabela 3.2.,

Verifica-se ainda que, para manter dA/dt constante é necessário que possua valores de velocidade angular ω variando em um dado tempo. Então, teremos que:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \omega \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Nesta, temos ainda a conservação o momento angular L , sabendo que:

$$L = r \cdot \vec{p} = (r) \cdot (m \cdot \vec{v})^2 \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Sendo ainda $v \rightarrow = \omega \cdot r$, substituindo na Eq. 3.2, teremos:

$$L = (r) \cdot (m \cdot \omega \cdot r) = m \cdot \omega \cdot r^2 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Combinando a Eq. 3.3 com Eq. 3.1, obtemos:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{m} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Ou seja, dA/dt constante é equivalente a L constante também e isso é condição de existência para movimentos (Halliday; Resnick; Krane, 2014)

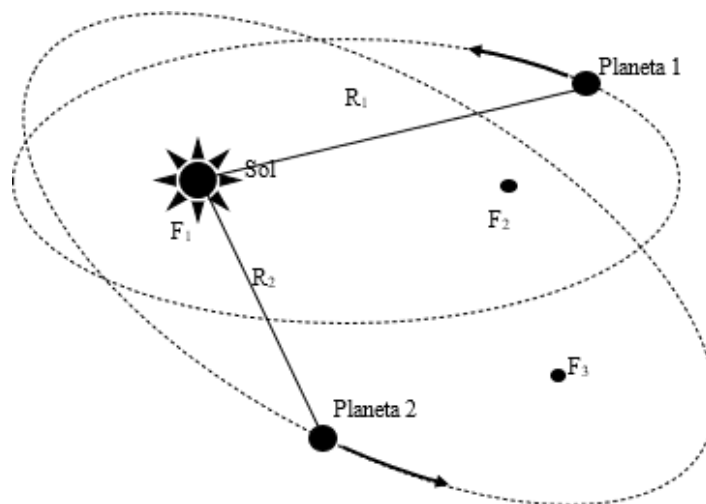
Contudo, devemos lembrar que foram proposições erradas e reconhecidas pelo próprio Kepler, mas publicadas no livro “Astronomia Nova” (1609). Já no final da vida (Nussenzveig, 2013), em 1619, após inúmeras tentativas infrutíferas, que ele acabou descobrindo a regularidade entre o raio das órbitas planetária e os seus períodos de revolução, na forma de sua 3ª lei.

3.2.3. LEI DOS PERÍODOS

O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior da órbita. (Halliday, Resnick; Krane, 2014)

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{const.} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Figura 3.13.: Relação entre raios orbitais para determinação de períodos.



Fonte: do próprio autor.

Assim, se T_1 e T_2 são períodos de revolução de dois planetas cujas órbitas têm raios médios R_1 e R_2 respectivamente conforme a Figura 3.13., a 3ª lei afirma que:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Kepler publicou sua 3ª lei em 1619, no prefácio de seu livro “*Harmonices Mundi*”.

3.3. A LEI DA GRAVITAÇÃO DE NEWTON

Em 1665, a Grande Peste (nome dado a última epidemia de peste bubônica que durou meses se alastrou rapidamente por Londres, dizimando entre 75 e 100 mil pessoas. Como medida de contenção da epidemia, algumas localidades da Inglaterra foram colocadas em estado de “Lock-down”, uma espécie de cordão sanitário que restringia a circulação de pessoas entre as fronteiras, bem similar ao que aconteceu em escala global em 2020, durante a pandemia de Covid-19. Neste período, houve o fechamento da Universidade de Cambridge, Isaac Newton refugiou-se em sua fazenda de Woolsthorpe, onde, segundo ele mesmo relata:

- Desenvolveu seu binômio e séries binomiais;
- Desenvolveu sua fórmula de interpolação;
- Desenvolveu o Cálculo Infinitesimal (derivada e integral);
- Realizou experimento com luz branca que resultaram na teoria das cores;
- Debruçou-se sobre estudos de Kepler e a relação entre a força que atrai corpos próximos da superfície (queda livre) e o que mantém a lua em sua órbita.

Nesta seção, a partir da segunda lei de Kepler para uma órbita de $e = 0$ e raio R , admitindo que a órbita lunar se aproxime desta premissa e que se move em MCU com velocidade angular $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Sendo $a = \omega^2 \cdot R$, teremos:

$$\vec{a} = -\omega^2 \cdot R \cdot \hat{r} = -\frac{4\pi}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Onde $\hat{r}$ é o vetor unitário na direção radial. Sem é a massa da lua, a força que atua sobre ela

é dada pela 2ª lei de Newton, logo:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \hat{r} = -m \cdot \frac{4\pi}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Tendo ainda a 3ª lei de Kepler: $T^2 = K$, onde K é uma constante válida para todos os planetas que orbitam a mesma estrela ou objetos/satélites que orbitam um planeta, podemos reescrever a **Eq. 3.9**.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -m \cdot \frac{4\pi}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} = -m \cdot \frac{4\pi}{K \cdot R^3} \cdot R \cdot \hat{r} = -\frac{4\pi}{K} \cdot \frac{m}{R^2} \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Observamos então que já é possível uma primeira conclusão importante, ou seja, que $\vec{F} \propto R^2$

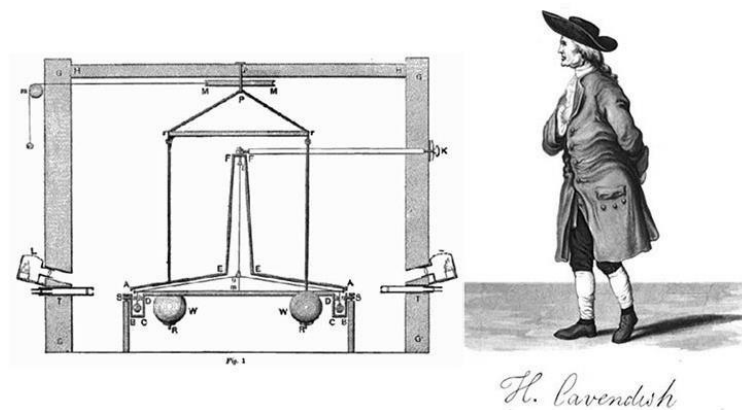
Pela 3ª lei de Newton, a Lua exerce uma força igual e contrária sobre a Terra, a qual deve também ser proporcional à massa M da Terra. Newton foi assim levado à expressão:

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

onde G seria agora uma “constante universal”, característica da força gravitacional.

Contudo, houve um percurso para chegar em G , pois conforme a Eq. 3.10, a proporcionalidade $\frac{4\pi}{K}$ ainda estava indefida, pois Kepler não havia percebido que $\frac{T^2}{R^3}$ tem relação com a massa do corpo orbitado.

Figura 3.14: Balança de torção de Cavendish



Fonte: disponível em <http://360.thuvienvatly.com/bai-viet/thi-nghiem-vat-ly/3636-henry-cavendish-nguoi-can-trai-dat-bang-day> (acessado em 27/12/2022)

Para solucionar o problema que surge, Newton admite em seu livro III, “O Sistema do Mundo”, que $\frac{4\pi}{K} = G \cdot M$, onde M é a massa da Terra. Deste modo, teremos a mudança da Eq. 3.10 para Eq. 3.11. Contudo, de fato G , foi pela primeira vez, medida por Henry Cavendish em 1798 como auxílio de sua balança de torção (Figura 3.14.) conforme descrito no periódico “Philosophical Transactions”.

Newton reescreve a 3ª Lei de Kepler como:

$$M + m = \frac{R^3}{T^2} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

Sendo esta forma, especialmente útil para a determinação de massas de corpos astronômicos. Por exemplo, se se observa o período orbital e a distância de um satélite a seu planeta, pode-se calcular a massa combinada do planeta e do satélite, em massas solares ou massas terrestres. Como a massa do satélite é muito pequena comparada com a massa do planeta, a massa calculada ($m + M$) é essencialmente a massa do planeta (M).

3.4. SÍNTESE SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE FÍSICA

O próprio Newton, como citado no prefácio do catálogo dos *Portsmouth Papers*, descreve como utilizou a Regra de Kepler para derivar a gravitação universal: "No ano de 1665, comecei a pensar na gravidade estendendo-se ao orbe da Lua, e tendo descoberto como estimar a força com a qual [um] globo girando dentro de uma esfera pressiona a superfície da esfera, da Lei de Kepler de os tempos periódicos estando em uma proporção sesquialterada de suas distâncias dos centros de seus orbes, deduzi que as forças que mantêm os planetas em seus orbes devem [ser] reciprocamente como os quadrados de suas distâncias dos centros sobre os quais eles giram: e assim comparou a força necessária para manter a Lua em seu orbe com a força da gravidade na superfície da Terra, e encontrou uma resposta quase igual."

Em sua “Philosophie de Newton” (1738), Voltaire conta: “Um dia, no ano de 1666, Newton, então em sua fazenda, vendo uma fruta cair de uma árvore, segundo me disse sua sobrinha, Mme. Condita (Catherine Barton), começou a meditar profundamente sobre a causa que atrai todos os corpos na direção do centro da Terra”. A Lua, como a maçã, está “caindo” em direção à Terra ao longo de sua órbita.

Fica evidente a relevância para uma significativa aprendizagem, o questionamento acerca das leis de Kepler, visto que o próprio Sir Isaac Newton se propõe a compreender e aprimorar, para elevar o

entendimento sobre o movimento de corpos celestes a um novo patamar, onde há a compreensão de que as mesmas leis que regem o movimento dos objetos próximos a superfície da Terra, também servem para os corpos celestes. De igual modo, uma nova proposta surge na primeira metade do século XX a partir da Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein e posteriormente em sua teoria geral que trata a atração gravitacional não mais como uma força, mas a consequência de uma curvatura no espaço-tempo nas equações de campo de Einstein² e esta, ainda é proporcional a G (Eq. 3.13).

$$R_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \cdot R = -8\pi G T_{\mu\nu} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

² Não discutiremos a inclusão da constante cosmológica. Considerações acerca desta podem ser encontradas em qualquer livro-texto sobre Relatividade Geral.

4. TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E O ENSINO DA FÍSICA

Quando surge uma tecnologia mais barata, simples e/ou conveniente, essa tecnologia causa uma ruptura na estrutura existente e recebe o nome de Tecnologia Disruptiva (Schuelke; Leech, 2018).

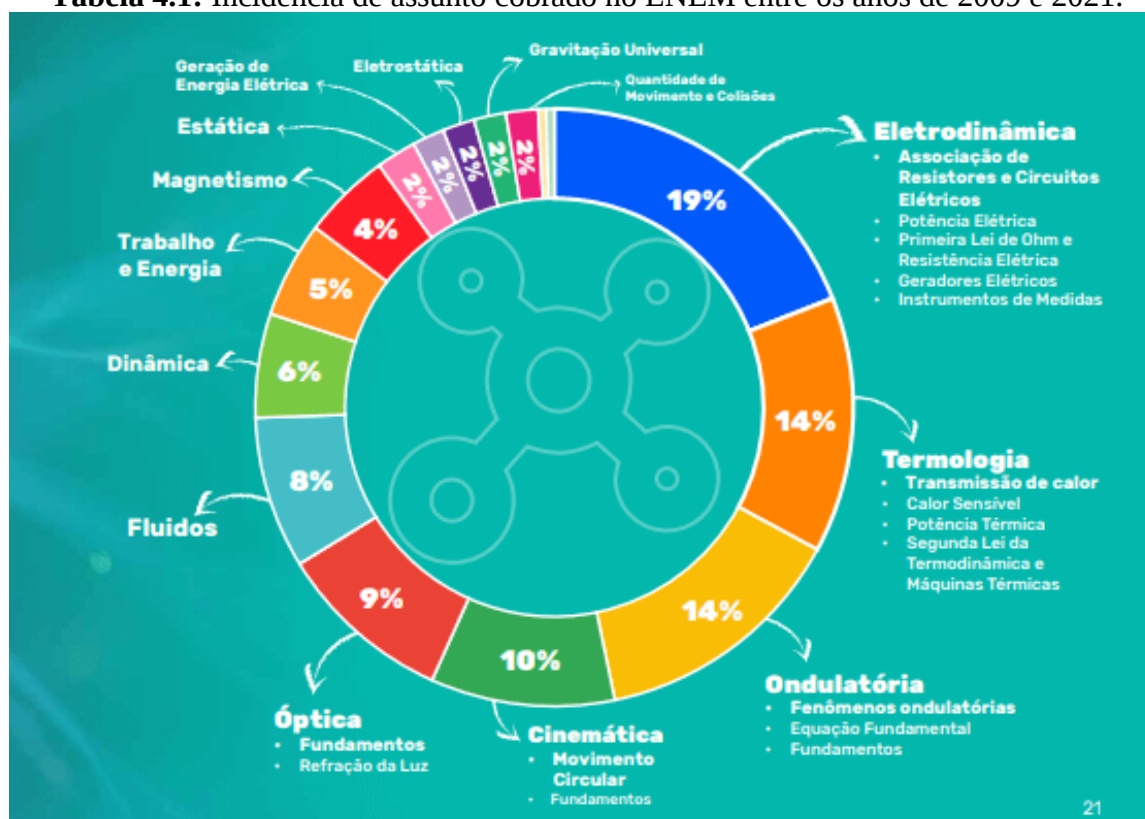
Neste capítulo, proponho uso de tecnologias disruptivas como mediadores e facilitadores no processo ensino-aprendizagem levando em consideração o referencial epistemológico supracitado e o documento base vigente: A base nacional curricular comum, que estabelece as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

Como exemplos de tecnologia disruptivas, foco no uso da Realidade Aumentada e Virtual como substituta de imagens estáticas desenhadas nas lousas e das abstrações dos “experimentos imaginários” narrados em sala durante as aulas de Gravitação Universal.

Tal proposta, apesar de testada em um grupo de alunos da 1ª e 3ª série do ensino médio é versátil a tal ponto de ser aplicada ao ensino fundamental.

O modelo padrão de ensino versa a compreensão de fenômenos através, principalmente, de aulas expositiva e resolução de itens construídos com base na matriz de referência do exame nacional do ensino médio que, para o tema Gravitação Universal, seleciona a habilidade 20 da competência de área 6, que versa: “H20 - Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes”. (Matriz de referência Enem Ciências da Natureza. p.9)

Nesta, fica evidente o desprestígio limitando a aprendizagem apenas em caracterizar causas ou efeitos de movimentos de corpos celestes tendo como base a mecânica newtoniana e a fundamentação nas leis de Kepler e isso justifica o baixo índice de itens proposto no Enem, segundo oblog Aprova Total em levantamento feito nas provas de 2009 a 2021.

Tabela 4.1: Incidência de assunto cobrado no ENEM entre os anos de 2009 e 2021.

Disponível em <https://blog.aprovatotal.com.br/fisica-no-enem-revise-os-principais-conteudos/>
(acessado em 22/12/2022)

Em uma análise de 585 itens, envolvendo as aplicações, reaplicações e provas canceladas, tem-se apenas 12 itens que tratam de Gravitação e que, conforme exige a habilidade 20, pouquíssimo exige da criticidade ou protagonismo do aluno. No entanto, a proposta do Novo Enem baseado na BNCC, traz consigo uma habilidade diferente para o mesmo objeto de estudo: “(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.”

É nítido que o nível cognitivo para resolução de itens que contemplem esta habilidade é maior, pois, apesar de haver teorias bastante sólidas acerca do movimento dos corpos, a construção da estrutura cognitiva necessária para contemplar tal habilidade será mais eficaz se o professor usar uma metodologia ativa.

Existem diversas abordagens para o ensino, mas neste trabalho, apresento uma unidade de ensino potencialmente significativa que se baseia no uso de duas tecnologias disruptivas: Realidade Aumentada e Realidade Virtual.

4.1. A REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA

Não há como tratarmos de Realidade Aumentada (RA/AR) sem mencionar a Realidade Virtual (RV/VR). “A Realidade Aumentada surge da evolução da Realidade Virtual (RV)” (Tori et al.;2006).

De acordo com o filósofo e sociólogo Pierre Levy (Levy, 2003): “Virtual se refere a ambientes ou elementos que são sintetizados por meio de dispositivos digitais e que podem ser replicados de forma imaterial”.

No entanto, mesmo havendo os arquivos digitais, a interação com o usuário só é possível se houver um dispositivo ou periférico que permita tal, como por exemplo, o caso de um objeto qualquer como uma xícara de café. Podemos reproduzir um modelo digital por meio de algum software capaz, mesmo assim, será apenas um arquivo virtual ou objeto imaterial.

A realidade Virtual se refere a ambientes ou elementos que o indivíduo / usuário / aluno considere como sendo pertencentes à sua realidade e no caso do exemplo do arquivo digital da xícara de café, podemos, através de uma impressora 3D, transformar o arquivo de uma xícara virtual em uma real e útil para a função a que se destina interagindo com o indivíduo / usuário / aluno. Mas aqui, teremos ambientes difíceis de ser materializados como o caso da xícara. Tratamos de ambientes interplanetários ou até interestelares que provoquem sensações como se fossem reais. Para isto, precisamos entender o funcionamento do sistema límbico humano.

4.2. OS ESTÍMULOS ÓPTICOS E A APRENDIZAGEM

Durante o desenvolvimento da Física, sem dúvida, um dos primeiros degraus da evolução da filosofia natural para a física propriamente dita, foi a introdução da experimentação através da incorporação do método científico a partir das indagações Galileanas.

O uso da Luneta astronômica levou ao questionamento acerca do movimento dos planetas, astros e a posição relativa de nosso planeta e tudo se resumiu ao sussurro “Eppur si muove”.

Recentemente a Agência Espacial norte americana lança o NASA MarsXR Challenger que consiste em um desafio para a criação de ecossistema em metaverso, que será renderizados através do Unreal Engine 5 da Epic Games (motor de jogos virtuais) para fornecer um ambiente mais realista possível. Ou seja, ainda usamos a mesma forma principal de nos relacionar com o ambiente, para a partir disto, elaborar explicações. E por que não ser o facilitador para formulação destas explicações?

Como elucidado anteriormente, a Realidade Virtual, se refere a ambientes ou elementos que o aluno considere como sendo pertencentes à sua realidade e esta percepção ilusória, chama-se imersão, conforme Slater e Wilbur (1997). “Imersão se refere a quão preciso determinado sistema computacional é ao prover ao usuário a ilusão de uma realidade diferente daquela na qual este se encontra, ou seja, é o nível objetivo em que um sistema de RV envia estímulos aos receptores sensoriais do usuário.”

Em uma experiência imersiva, consideramos as seguintes variáveis:

- A. QUALIDADE DA IMAGEM:** realismo e fidelidade da síntese de imagem, envolvendo resolução, frequência, qualidade do mapeamento de texturas, níveis de detalhamento.
- B. CAMPO DE VISÃO:** campo de visão que o usuário consegue ter ao interagir com o ambiente virtual.
- C. ESTEREOSCOPIA:** possibilidade ou não de o sistema prover visão estereoscópica.
- D. RASTREAMENTO:** graus de liberdade, precisão, tempo de resposta e outros atributos de qualidade do sistema de rastreamento.

Com o uso da imersão por realidade virtual através de dispositivos digitais de baixo custo como os VR BOX (Figura. 4.1) disponíveis a preços populares em e-comerces e um smartphone com acesso à internet (que pode ser o do professor), promovemos a desequilíbrio segundo Piaget após o término da experiência sensorial, conduzimos, por mediação ao questionamento necessário afim de que o aluno construa seus próprios modelo e explicações baseado no que viu e lapidado pela mediação do professor.

O uso de tecnologia disruptiva quebra o paradigma do modelo padrão de ensino por meio de apresentação de conceitos via quadro de escrever e, conforme apresentada na seção 2.1 deste trabalho, o professor passa a se um facilitador e incentivador da construção dos mesmos conceitos tendo como protagonista do processo ensino-aprendizagem, o próprio educando, levando em conta o indivíduo e suas experiências anteriores com acesso a informação não formal a cerca do assunto explorando seu potencial de aprender, através do encantamento provocado pela novidade, conforme o principal pilar da teoria Rogeriana. Lembrando o que já foi citado anteriormente neste trabalho, o aluno e o professor precisam aprender a aprender, pois as mudanças ocorrem a todo o momento, e aquilo que ele possa ter aprendido na escola não terá validade integral por muito tempo e o uso de uma tecnologia que pode ser aprimorada sempre, a proposta de visualização do movimento planetário (mesmo que fora de escala de espaço e tempo) facilita a compreensão de leis universais.

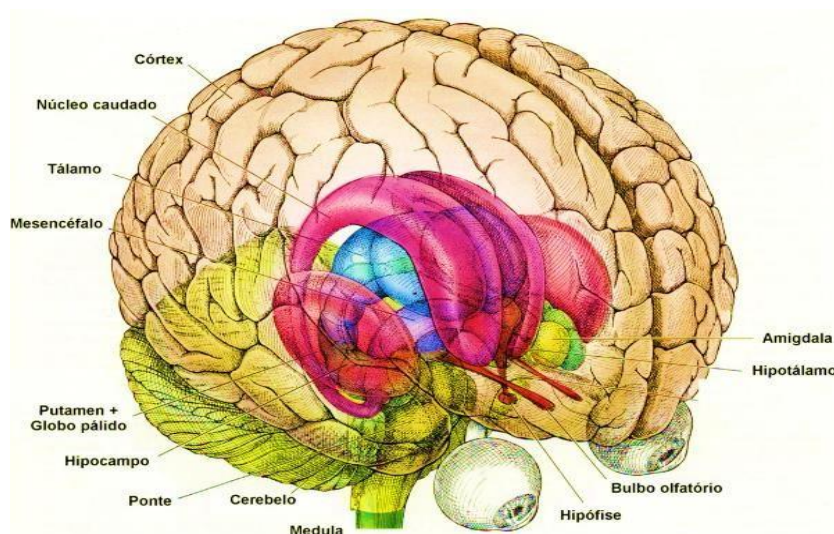
Figura 4.1.: Experiencia sensorial ocorrida em uma turma de 3ª Série do Ensino Médio em estabelecimento de ensino da rede particular.



Fonte: do próprio autor

Estímulos visuais, a via óptica, a partir da retina (considerada parte integral do cérebro), encaminha a imagem ou imagens ao tálamo (corpo geniculado lateral) através do nervo óptico, quiasma óptico, trato óptico e, finalmente, o núcleo geniculado lateral, localizado no polo posterior do tálamo (Figura. 4.2), estabelecendo-se mecanismos morfofuncionais (emoções).

Figura 4.2.: Neuro fisiologia central visão



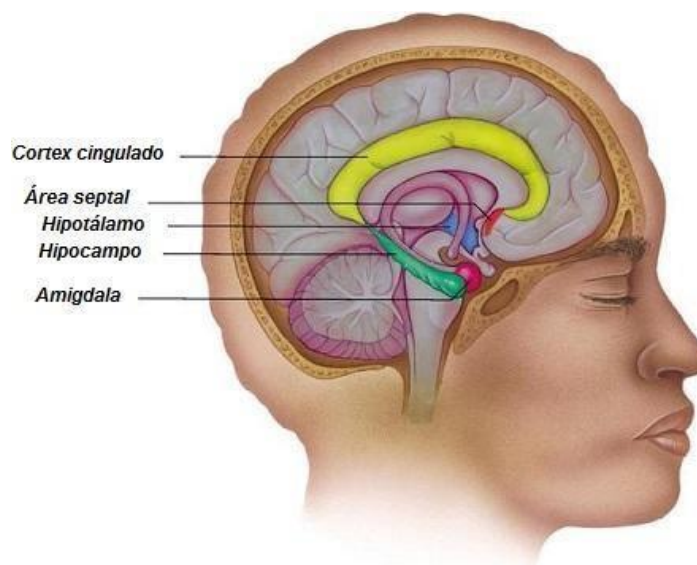
Fonte: disponível em <http://fisio2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula3.pdf> (acessado em 26/12/2022)

As emoções podem ser consideradas cruciais para se compreender o processo de aprendizagem dos indivíduos. Os aspectos cognitivos e afetivos, embora sejam diferentes, são também indissociáveis (Montiel; Capovilla, 2009). Conforme afirma Almeida (1999), a afetividade e a inteligência são integradas e estão presentes concomitantemente na construção psíquica da criança, enquanto indivíduo, mesmo que em determinadas épocas haja a preponderância de apenas uma delas.

Em 1949 e 1990, Paul MacLean propôs um modelo de sistema límbico. MacLean concluiu que o córtex límbico, juntamente com as estruturas límbicas subcorticais, forma um sistema funcionalmente integrado e interconectado por vários feixes de fibras longas e curtas (MacLean, 1949; MacLean, 1990).

Formado por um conjunto de glândulas (Figura. 4.3) que produzem neurotransmissores que potencializam respostas cognitivas processadas no Neocórtex ou instintivas processadas no Complexo Reptiliano (MacLean, 1952). O sistema límbico é responsável pelas emoções (afetividade) e funções vegetativas e foi formado evolutivamente a mais de 150 milhões de anos. Presentes inicialmente entre mamíferos e aves.

Figura 4.3.: Sistema Límbico.



Fonte: disponível em <https://pt.slideshare.net/josercostajr/9-sistema-limbico> (acessado em 26/12/2022)

As informações armazenadas no sistema límbico recriam ambientes sensoriais que, quimicamente (por meio de neurotransmissores), remontam lembranças de fatos vividos ou não, tal como cheiros, sensações térmicas e outros. Algumas informações/estímulos sobre sensações são estímulo sensório-motores armazenados no Complexo Reptiliano (ligadas aos sentidos, exceto o olfato), suscitam respostas límbicas,

como o sabor da comida caseira da mãe de um indivíduo ou uma imagem em fotografias de uma viagem de férias.

Como estrutura neuronal mais recente e desenvolvida a mais de 50 milhões de anos, o neocórtex é responsável pela cognição, ou seja, esta estrutura é responsável pela função psicológica ligada ao aprendizado e desenvolvimento intelectual e emocional. A capacidade cognitiva ou desenvolvimento cognitivo (explanado no capítulo 2 desta dissertação) indica a habilidade de adquirir conhecimentos e desenvolver emoções, por meio do raciocínio, percepção, linguagem, memória, entre outros (Piaget, 1967). Esta estrutura garante ao homem o controle sobre as duas demais. Estímulos límbicos ou reptilianos, podem processar nesta região, respostas diferentes (MacLean, 1990). Isto é claro, quando devidamente estimulado, o neocórtex pode desenvolver habilidades cognitivas que se evidenciaram nas respostas a estímulo, pois estas podem modificar o ambiente onde o indivíduo foi estimulado, por exemplo, uma pessoa que não aprendeu a nadar, em uma situação de naufrágio, apenas move-se na água buscando sobreviver e afastando aquilo que poderia pôr fim a sua vida, semelhante a um cachorro. No entanto, quando uma pessoa que aprendeu a nadar está exposta a mesma situação, a ordem neuro motora é de mover-se ordenadamente e usar o meio para garantir propulsão, isso aumenta a probabilidade de sobrevivência e garante a adaptação deste ao meio.

4.3. ESTEREOSCOPIA

Sobre a visão binocular ou estereoscópica, Tori e Hounsell (2003) escreveram:

... permite ao ser humano a visualização de imagens com a sensação de profundidade e a percepção da distância do objeto alvo. Diante disso, atividades cotidianas, como alcançar um objeto sobre uma mesa, são realizadas de maneira fácil. Já se tivéssemos uma visão monocular (somente um olho), teríamos muito mais dificuldade de realizar tais ações.

A Figura 4.4 abaixo ilustra um esquema de visão binocular descrita pelos autores.

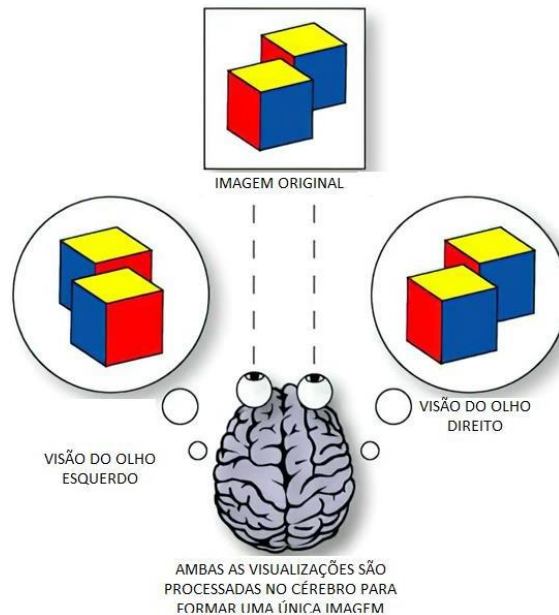
Além do processo natural para obtenção da estereoscopia Tori e Hounsell (2003), também destacam:

...outros processos artificiais gerados por computador podem dar ao observador essa sensação de profundidade. Um dos meios de obter-se estereoscopia é a utilização de um sistema de câmeras para captura de vídeo estereoscópico, o qual adquire as imagens esquerda e direita, com perspectivas diferentes, e que são apresentadas ao olho esquerdo e ao olho direito do observador respectivamente, possibilitando a visualização tridimensional.

A distância horizontal entre a imagem esquerda e direita nas imagens estereoscópicas geradas

por computador é conhecida como paralaxe.

Figura 4.4.: esquema da visão binocular

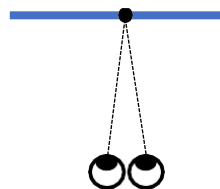


Fonte: disponível em <https://fotograf360.weebly.com/360ordm-vs-3d.html> (acessado em 26/12/2022)

Existem três tipos básicos de paralaxe: zero, positiva e negativa:

- **Paralaxe Zero:** os pontos homólogos das imagens (esquerda e direita) estão exatamente sobrepostos/convergidos na tela de projeção, ou seja, se um objeto está situado no centro da tela de projeção, então tal projeção sobre o plano focal está coincidindo tanto com o olho direito quanto com o olho esquerdo, conforme Figura 3.5.

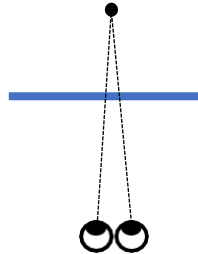
Figura 4.5.: paralaxe zero



- **Paralaxe Positiva:** o cruzamento dos eixos dos olhos é atrás do plano de projeção, dando a sensação de que o objeto está atrás da tela de projeção (**Figura 4.6**). Em uma apresentação estereoscópica, sempre que a distância d entre os olhos for igual ao valor da paralaxe p , os eixos dos olhos estarão em paralelo

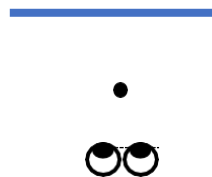
(visão perfeita). Mas se o valor p da paralaxe for maior significa que há um erro, pois é um caso divergente (ex.: estrabismo). O valor p pode ser menor que a distância d , gerando uma visão ruim.

Figura 4.6.: Paralaxe negativa



- **Paralaxe Negativa:** ocorre quando os eixos dos olhos esquerdos e direito estão cruzados, significa que o cruzamento dos raios de projeção para cada olho encontra-se entre os olhos e a tela de projeção, dando a sensação de o objeto estar saindo da tela, isto é, entre o observador e a tela. Por isso, há quem diga que os objetos com paralaxe negativa estão dentro do espaço do observador (**Figura 4.7**).

Figura 4.7.: Paralaxe positiva



Em um ambiente computacional, imagens estereoscópicas podem ser visualizadas por meio de diversas técnicas e dispositivos de saída de dados, como por exemplo, o uso de um monitor de vídeo em conjunto com óculos especiais³ que possibilitam a visualização estereoscópica. O processo de criação e visualização de imagens estereoscópicas depende de alguns fundamentos básicos matemáticos⁴.

³ No Produto Educacional desta dissertação, utilizo óculos de realidade aumentada.

⁴ Disponível em http://www.visaomonocular.com/Banco_de_Arquivos/Artigos/Estereoscopia_Aborda-gem_Basica.pdf (acesso em 25/12/2022).

4.3.1. ESTEREOSCÓPIO

O estereoscópio é um instrumento composto por lentes que direcionam uma das imagens do par estereoscópico para o olho direito e a outra para o olho esquerdo, permitindo visualizar-se a imagem de forma tridimensional. Esse aparelho separa fisicamente as visões esquerda e direita, eliminando a possibilidade do cruzamento entre as visões. No essencial, o

estereoscópio é constituído por um par de lentes convexas montadas sobre um suporte, que permite ao observador ajustara distância pupilar entre as lentes, bem como ajustar a distância de visualização (Tori, Hounsell,2018).

Historicamente, até chegarmos à tecnologia que permite o uso de ambientes computacio-nais próprios para a Realidade Virtual, passamos pelo uso de 3 tecnologias aplicadas ao ensino: o anaglifo (Figura. 4.8), polarizador de luz (Figura. 4.9.) e o par estéreo dos cardboard (Figura. 4. 10).

Figura 4.8.: Óculos anaglifo disponíveis no mercado



Fonte: disponível e livre busca no Google

Figura 4.9.: óculos 3D Imax com polarizadores disponíveis no mercado



Fonte: disponível e livre busca no Google

Figura 4.10.: VR card board com par estéreo desenvolvido por Startup local.



Fonte: do próprio autor

Anaglifo é uma técnica de separação de imagens que utiliza uma filtragem das imagens por cores primárias. Nesse sistema o usuário usa óculos com lentes diferentes que absorvem certas cores e permite que outras passem, em geral o filtro de cores é feito de forma que no final todo o espectro de cores chegue aos olhos, mesmo que parte em um olho e a outra parte no outro (Tori;e Hounsell, 2018).

Ainda encontramos em algumas livrarias de novos e usados, alguns sistemas de ensino⁵ que usaram imagens adaptadas para serem vistas com óculos dessa natureza, mas acredito que não havia razões didáticas a adoção dele, mas o apelo comercial pela novidade de seu tempo.

O Museo de la ciencia em Barcelona, tem como atração o Planetário CosmoCaixa 3D (Fig. 4.11) que proporciona a seus visitantes uma experiência imersiva no profundo cosmo, por meio de sua cúpula de projeção e com o uso de óculos polarizadores (os mesmos usados nas salas de cinema com projeção em 3D).

⁵ Sistema Didático de Ensino Fundamental e Médio Em 3d 7 Matérias – Ed. Didática Paulista / Silvanelli

Figura 4.11.: Planetário Cosmo Caixa 3D instalado no Museo de la ciencia em Barcelona.

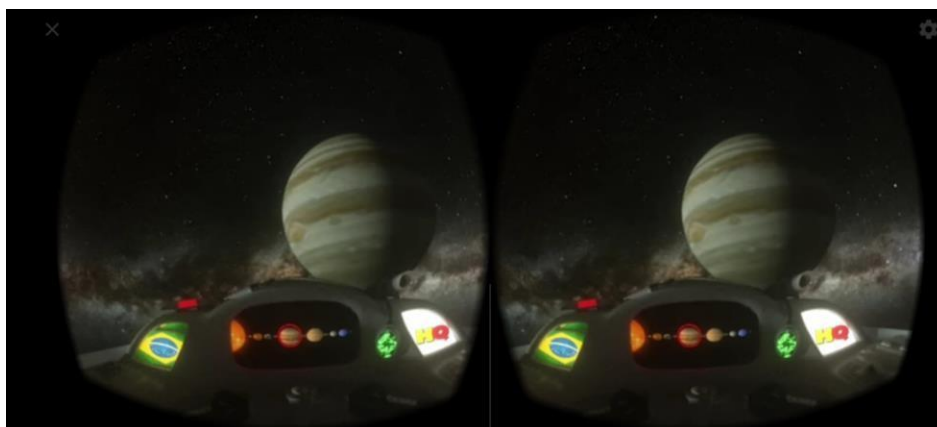


Fonte: disponível em https://cosmocaixa.org/es/p/planetario-3d_a385054 (acessado em 28/12/2022)

Ressalta-se neste trabalho que o uso para fins didáticos, de Cardboards de baixo custo (Figura. 4.10) que valorizam materiais amazônicos e, com o Smartphone do próprio aluno para acessar o Streaming de vídeos Youtube (desde que tenha uma rede banda larga disponível ou dados móveis) baseado na competência 5 da BNCC (cultura digital) que será explanado mais adiante.

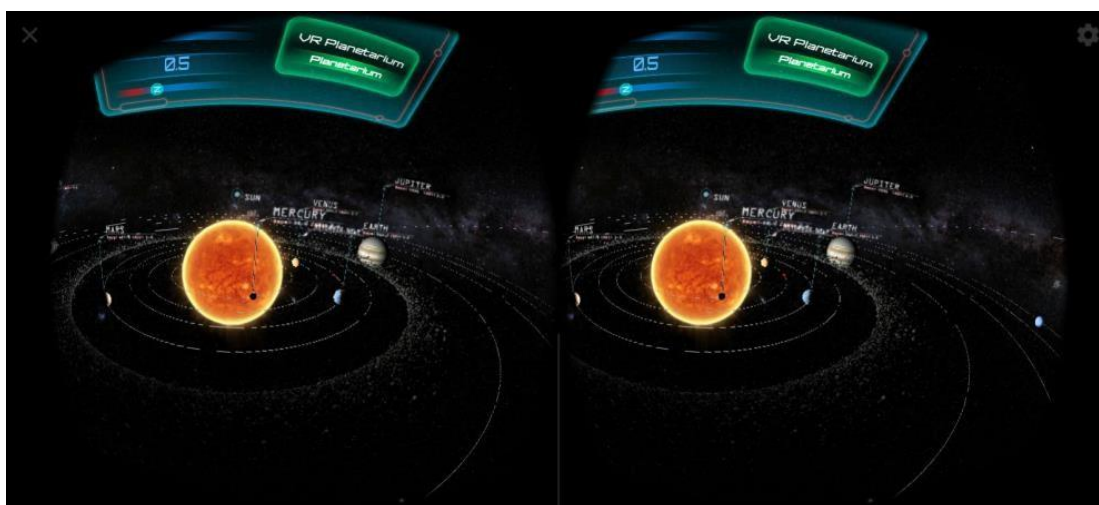
Com alguns vídeos armazenados no Youtube ou com o aplicativo AR Solar System, podemos proporcionar ao aluno experiências mais imersivas e de alto estímulo sensorial em seus ambientes de simulações computacionais (Figura. 4.12 e Figura. 4.13.).

Figura 4.12.: Imagem de par estéreo em canal 306°no Youtube.



Fonte: disponível em https://www.youtube.com/watch?v=aY4N7_O5aO0 (acessado em 28/12/2022)

Figura 4.13.: Imagem de par estéreo em aplicativo AR Solar System.



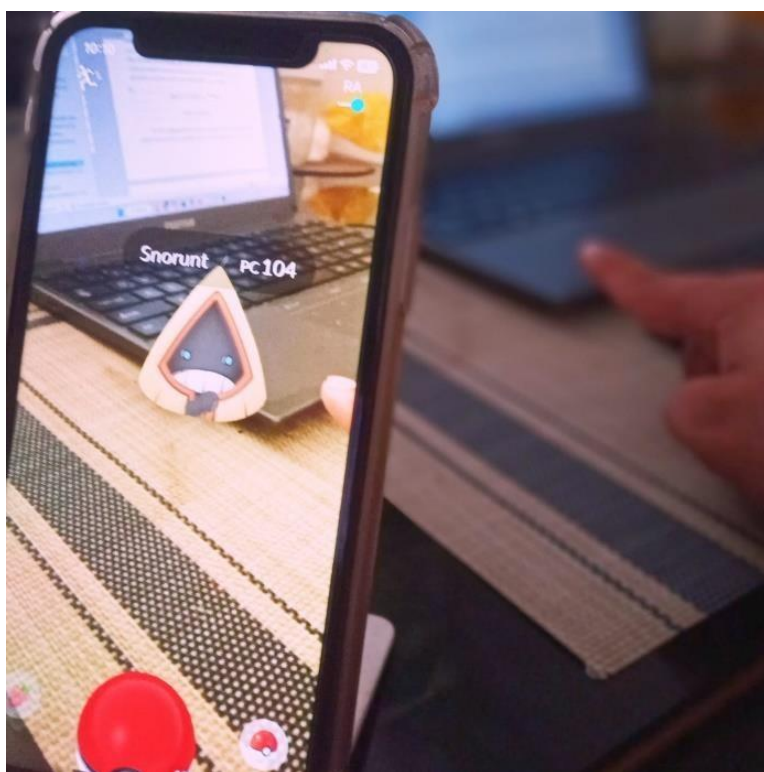
Fonte: imagem de tela do aplicativo AR Solar System para Android

4.4. TECNOLOGIA DA REALIDADE AUMENTADA

Para não me alongar desnecessariamente nesta narrativa, trago nesta seção o sistema utilizado no produto educacional, que é o Sistema de Visão Direta Baseada em Monitor, ou ainda, como conhecido em literatura especializada, “*Monitor-Based Augmented Reality*”.

No sistema de visão por vídeo baseado em monitor, é necessária uma câmera de vídeo que capta a imagem real. Em seguida, a imagem do tempo real é combinada com objetos ou imagens virtuais, tudo gerado por computador, permitindo a sua visualização num monitor. Estes objetos virtuais são produzidos através de marcadores fiduciais, que permitem acrescentar a virtualidade ao ambiente real. Este sistema tornou-se bastante popular através de jogos eletrônicos desenvolvidos para smartphones, dentre eles, certamente o de maior sucesso em alcance mundial foi Pokémon Go (Figura. 4.14), desenvolvido pela Niantic Labs e lançado em 2016. Utilizando segmentação semântica e oclusão para entender os elementos ambientais em um local usando tecnologia de visão computacional baseada em inteligência artificial para distinguir objetos do mundo real em tempo real.

Figura 4.14.: Pokémon Go – Niantic Labs.

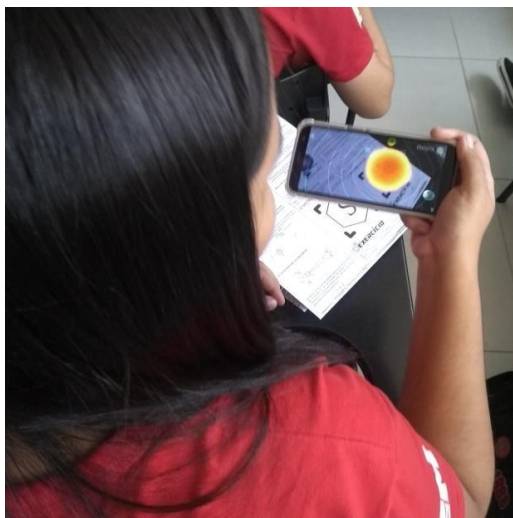


Fonte: do próprio autor

Em 2018 a Volforia desenvolve um aplicativo chamado AR Solar System (Figura. 4.15.) para sistema operacional Android 4.4 em diante, que utiliza uma tecnologia similar, no entanto, usando um marcador Fiducial (Figura. 4.16.) para trazer ao ambiente real visualizado por câmera, um elemento digital (realidade aumentada) simulando computacionalmente um modelo atualizado de sistema solar com os planetas e outros objetos massivos, em órbita conforme as leis de Kepler (exploradas no capítulo 4 desta dissertação).

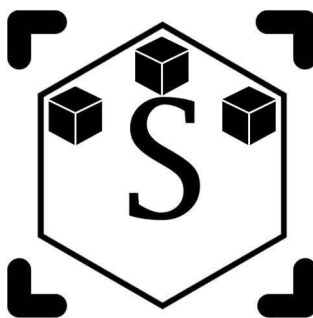
Um marcador fiducial (Figura. 4.16) funciona como um código de barras, mas, além de dar informação, permite dar uma localização. Estes marcadores dão informações do ambiente real, como a localização e orientação. (Reis et al.; 2009)

Figura 4.15.: AR Solar System sendo utilizado por uma turma de 1ª série do Ensino Médio.



Fonte: do próprio autor

Figura 4.16.: Alvo marcador fiducial impresso no final da apostila de Gravitação Universal utilizada pelo autor.



Fonte: do próprio autor

A realidade aumentada obtida por um Sistema de Visão Direta Baseada em Monitor foi escolhida para estar no produto desta dissertação por apresentar melhor qualidade de imagem quanto à nitidez em brilho e contraste e a alta resolução entre os objetos virtuais, quando sobrepostos ao ambiente real. Também, além de características técnicas, o baixo custo, ou seja, não são necessários grandes dispositivos e o usuário (aluno) não precisa de nenhum dispositivo específico para conseguir este sistema. Consegue-o apenas com a câmera do celular e um marcador fiducial (dá acesso a coordenadas, ou seja, medidas corretas ao computador).

4.5. A BASE NACIONAL CURRICULAR (BNCC) E A CULTURA DIGITAL.

Retomando a minha crítica pessoal exposta no TCC, é comum nas escolas onde desempenhamos o nosso ofício docente, a proibição do uso de celular em sala de aula. Mas isto se deve principalmente a 2 fatores: a atenção do aluno que se volta para as redes sociais, jogos e outras distrações durante a aula e (em uma análise pessoal), o analfabetismo digital que acompanha o professor.

A tecnologia nunca foi concorrente, mas parceira sempre. Contudo, muitos professores temeram perder carga horária e seu sustento familiar, após o advento da EAD. No entanto, o período de Lockdown que o mundo viveu entre 2019 e 2020, mostrou o quanto é essencial a figura presencial deste. Não há, de fato, motivos para esta visão deturpada, mas, se o celular é mais interessante que a aula, algo precisa ser feito.

No portal do MEC⁶ encontramos um texto que cita a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) como norteador para o desenvolvimento de competências e habilidades gerais, relacionadas ao uso crítico e responsável das tecnologias digitais, tendo como fim o desenvolvimento de competências relacionadas, aos recursos e linguagens digitais, destacada na competência geral 5:

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.” (BNCC, 2018)

Sendo assim, é preciso lembrar que implementar o uso das tecnologias digitais na educação não se trata de utilizá-las somente como apoio para promover aprendizagens, mas também para que os alunos construam conhecimentos por meio do uso dessas TDICs⁷.

Tem alguns anos que milito pela implementação e uso de tecnologias no contexto escolar não somente como meio para promoção de aprendizagem ou como forma de estímulo e engajamento dos estudantes, mas também como objeto de conhecimento em si, preparando os alunos para o uso das TDICs nas diversas esferas pessoais. No entanto, sempre houve o empecilho por normas técnicas da escola baseado em uma resolução municipal que versa: Art. 1º Fica proibido o uso de telefone celular, MP3, MP4, PALMe aparelhos eletrônicos congêneres, nas salas de aula das escolas estaduais do Estado do Pará. (LEI Nº 7.269/2009)

⁶ Ministério da Educação

⁷ Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

Nos demais artigo desta lei retrograda, sancionada em 2009 pela governadora em exercício e nunca revogada, torna o desenvolvimento da cultura digital nas escolas públicas e privadas, um ato subversivo tanto quando o uso de uma metodologia ativa segundo a proposta Carl Rogers. Mas a imposição do Novo Ensino Médio (NEM) e um novo ENEM com sua primeira aplicação em 2024, abre um precedente para que professores promovam campanhas que mudem a identidade de escolas altamente conservadoras, em progressistas. Neste novo cenário educacional, se tornou possível a aplicação do produto educacional proposto nesta dissertação e, felizmente, o sucesso do mesmo, se tornou exemplo para os demais docentes da instituição e motivo de início de uma sociedade empresarial que visa, através de uma Startup, treinar professores para o uso da TDICs, segundo proposto pela BNCC e fornecer a alunos, soluções tecnológicas com potenciais para aprendizagem significativa, tal como a unidade de ensino apresentada nesta dissertação.

5. METODOLOGIA DO ENSINO

O Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) é um programa que possui enorme contribuição para o ensino, confecção e produção de produtos educacionais. Este capítulo irá descrever a base teórica que fundamentará toda aplicação da proposta destetrabalho.

O produto educacional apêndice desta dissertação, expõe uma proposta de ensino potencialmente significativa (UEPs) para a aprendizagem das Leis de Kepler dentro do capítulo de Gravitacão Universal, ensinado como de costume em uma sequência didática, ao final da 1ª série do Ensino Médio e na revisão pré ENEM, na 3ª série. Para isto, apresento uma proposta de uso das tecnologias disruptivas de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) de baixo custo e fácil manejo para alunos e professores.

Esta proposta ainda está alicerçada na metodologia defendida por Carl Rogers na obra “Liberdade para Ensinar”, que traz em sua essência um olhar humanista e progressista sobre a aprendizagem centrada no indivíduo (educando e educador) e a competência geral 5 da BNCC que propõe a cultura digital e o uso da TDCIs como facilitadores para o desenvolvimento de habilidades e algumas associadas a determinados objetos de conhecimento.

Embora a BNCC e o portal da base não apresentem propostas para o uso das tecnologias disruptivas em sala de aula, baseado nos pressupostos teóricos e na revisão literária desta dissertação, segue este produto educacional.

5.1. O QUE É UM PRODUTO EDUCACIONAL

De acordo com os autores (Moreira; Nardi, 2009) a definição de um produto educacional: “trata-se do relato de uma experiência de implementação de estratégias [...] visando à melhoria do ensino em uma área específica que deve ser implementado em condições reais de sala de aula ou de espaços não formais, ou informais de ensino, relatando os resultados dessa experiência”.

Este produto visa a valorização do conteúdo (gravitação universal) que, parece ser tão desprestigiado nas propostas de livro didático e na matriz de referência de 2009 que exige dos alunos apenas a caracterização do movimento de corpos celestes sem nenhuma criticidade e que, é algo muito perigoso, visto que, neste aspecto, a humanidade viveu mais de um milênio de obscurantismo científico imposto pela igreja católica, que impedia o questionamento acerca do que há fora no nosso planeta, visto que as proposições renascentistas e unificadoras, enfraqueceram o poder dos dominantes, que se alimentava da ignorância da população.

Hoje, me parece que a tecnologia é questionada por certos segmentos sociais que, na verdade fazem o mau uso da mesma, sendo quase analfabetos digitais, o que leva crenças estapafúrdias, como ver o nosso planeta como um plano, tal como acreditava Tales de Mileto há mais de 2000 anos atrás.

O objetivo deste produto é expor o aluno à realidade de sala de aula, que se assemelha em alguns aspectos à realidade encontrada por Kepler no período da proposição de suas leis que não possuíam provas observacionais, mas apenas modelos matemáticos (euclidianos) herdados de seu tutor Tycho Brahe.

Fazendo o caminho inverso a Kepler, através do uso da realidade aumentada e virtual, este produto imerge o aluno em uma experiência observacional dos corpos celestes e através desta observação reproduzida por simulações computacionais e, após isto, eles proponham as Leis que regem o movimento destes objetos através da simples facilitação oferecida por quem aplica este produto.

5.2. O QUE É UMA UEPS.

Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) é uma proposição de Moreira (2011) para o desenvolvimento de práticas de ensino que objetivam a aprendizagem significativa. Os estudos sobre UEPS derivam-se da teoria de Ausubel (1963, 2003) sobre aquisição e retenção do conhecimento e da aprendizagem significativa. Embora se cite Moreira e Ausubel, o olhar desta UEPS está centrado no indivíduo durante a verificação da aprendizagem e desenvolvimento da habilidade necessária e proposta na Base Nacional Curricular Comum.

A UEPS é uma proposta de recurso facilitador para a ocorrência da aprendizagem significativa, por meio da estruturação do processo de ensino na forma de sequência didática, com etapas a serem desenvolvidas. Essa sequência didática possui encaminhamentos lógicos e metodológicos para o desenvolvimento de uma prática de ensino capaz de atribuir significado àquilo que se aprende, promovendo a aprendizagem significativa.

De acordo com a Base Nacional Curricular Comum;

A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova ideia se relaciona aos conhecimentos prévios, em uma situação relevante para o estudante, proposta pelo professor. Nesse processo, o estudante amplia e atualiza a informação anterior, atribuindo novos significados a seus conhecimentos. (BNCC, 2018)

A proposta das UEPS de Moreira (2011) organiza-se em oito etapas sequenciais, resumidas no quadro 5.1.

Quadro 5.1: Aspectos sequenciais de uma UEPS

ETAPA 1	Definir o tópico que será abordado, resgatando o conhecimento prévio e as relações que podem ser estabelecidas com o novo conhecimento.
ETAPA 2	Proporcionar situações em que o estudante possa externalizar o conhecimento prévio.
ETAPA 3	Introdução ao tópico de estudo, com situações que relacionem o conhecimento prévio com o novo conhecimento.
ETAPA 4	Apresentar o novo conteúdo ou conceito, partindo dos aspectos mais gerais para os mais específicos (diferenciação progressiva).
ETAPA 5	Retomada dos aspectos mais gerais do conteúdo, avançando na complexidade. Promover situações de interação com o grupo de estudantes, envolvendo negociação de significados.
ETAPA 6	Abordagem do tópico de estudo em maior grau de complexidade, com diversificação de atividades.
ETAPA 7	Avaliação processual e formativa da aprendizagem.
ETAPA 8	Avaliação da UEPS, segundo evidências da aprendizagem significativa.

Fonte: adaptado de Moreira (2011)

5.3. CONSTRUÇÃO DA UEPS.

- Objetivo:** Desenvolver uma unidade de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de Leis de Kepler.
- Filosofia:** Só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos.
- Marco Teórico:** Teoria da Aprendizagem Significante de Rogers (1972), Teoria do Desenvolvimento Cognitivo (Piaget, 1967) e Teoria da Mediação de Vygotsky (1988).
- Princípios:** A aprendizagem é uma insaciável curiosidade inerente ao ser humano e que sua essência é o significado. (Rogers, 1972)
- O professor deve ter em conta que os alunos aprendem aquilo que para eles é significativo. O papel deste é ser apenas um facilitador. (Rogers, 1972)
- A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova ideia se relaciona aos conhecimentos prévios, em uma situação relevante para o estudante, proposta pelo professor. Nesse processo, o estudante amplia e atualiza a informação anterior, atribuindo novos significados a seus conhecimentos. (BNCC, 2018)
- A aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira, 2011).

6. METODOLOGIA

A aplicação deste produto educacional foi realizada em um estabelecimento da rede particular de ensino, inicialmente com uma turma de 3º ano do ensino médio, mas reaplicado em outra turma de 1º ano do mesmo nível de ensino.

O motivo da reaplicação foi a constatação feita pelo pesquisador, de que os alunos possuíam um bom nível de conhecimentos técnicos sobre as Leis de Kepler e Lei da Gravitação Universal e isso tornaria ineficiente a análise da construção dos conceitos através da sequência didática. No entanto serviu para que eles tivessem outra perspectiva do que haviam aprendido apenas com equações e desenhos esquemáticos que tinham como objetivo único a solução de questões de processos seletivos e do Exame Nacional do Ensino Médio.

Durante a primeira aplicação do produto educacional, o pesquisador, apresentou para aluno do terceiro ano do ensino médio, a título de teste sobre como os alunos reagiriam ao uso da tecnologia, um sistema planetário com o uso de app AR SOLAR SYSTEM conforme a Figura 1.2. e uma simulação com o cardboard (Figura 4.1) usando como par estéreo, um vídeo disponível no Youtube (Figura 4.12). Sobre este modelo, discute a forma da trajetória e os períodos de revolução, deixando de lado os elementos importantes como a causa do movimento e a velocidade de revolução.

Na segunda aplicação deste produto, seguiu as seguintes etapas:

- Aplicação de questionário anônimo - 10 min
- Divisão de Grupos - 5 min
- Apresentação do primeiro APP (AR SOLAR SYSTEM) - 10 min
- Apresentação do segundo APP (SOLAR SYSTEM RA) - 10 min
- Apresentação do CardBoard - 10 min
- Apresentação do terceiro APP (COSMO CREATOR AR) - 10 min
- Debate sobre o que observaram - 15 min
- Nova aplicação de questionário anônimo - 10 min

6.1. A APLICAÇÃO DO PRODUTO

Como supracitado, a primeira aplicação foi feita em uma turma de terceiro ano do ensino médio, escola da rede particular de ensino com mensalidades de ticket médio, ou seja, que nos remete ao acesso a informações, como internet para pesquisas e livros. No entanto, apenas 1 entre 10 alunos desta, teve a oportunidade de fazer uma observação astronômica com telescópio.

Visto que esta primeira aplicação se torna de pouca relevância, pelos motivos já mencionados, e pelo fato de que, o conhecimento prévio em Gravitação Universal, que foi adquirido enquanto cursavam o primeiro ano do ensino médio, poderia comprometer o objetivo deste que é o ensino por meio de tecnologias disruptivas, o foco será na segunda aplicação.

6.1.1. APLICAÇÃO DO PRIMEIRO QUESTIONÁRIO

O primeiro questionário anônimo (vide APENDICE, p.25) foi aplicado em uma turma de 1º

Ano do Ensino Médio no mesmo estabelecimento de ensino onde foi aplicado este produto pela primeira vez conforme a Figura. 6.1.

Figura 6.1.: Aplicação do primeiro questionário anônimo



Fonte: do próprio autor

O objetivo deste era sondar a presença ou o nível de conhecimento prévio sobre gravitação universal, sendo constatado o baixo nível deste grupo, percebeu-se que essa seria a turma ideal para a aplicação deste produto.

Depois de recolher o questionário, a turma foi separada em pequenos grupos para otimizar o tempo para a visualização através das simulações em Realidade Aumentada e Virtual.

6.1.2. APRESENTAÇÃO DO PRIMEIRO E SEGUNDO APP

O primeiro App apresentado a turma foi o AR SOLAR SYSTEM modelado e escrito em C++ através do motor de jogos Unity pelos programadores da empresa Vulforia (Figura. 6.6.) e disponível gratuitamente na loja de aplicativos da Google (AppStore)⁹.

⁹ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ar.solar&hl=en_US&pli=1

Figura 6.2.: AR Solar System



Fonte: disponível em https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ar.solar&hl=en_US&pli=1 (acesso em: 23/04/2023).

Contudo, este aplicativo, que só é executável em sistemas operacionais ANDROID¹⁰ e após a atualização para a versão 10.0, tornou-se falho para a leitura do alvo marcador fiducial (Figura 4.16), sendo assim, para o sucesso da pesquisa, foi necessário a substituição dele, pelo SOLAR SYSTEM RA, modelado e escrito em C++ através do motor de jogos Unity pelos programadores da empresa Cappucci Technologies (Figura. 6.7.) e disponível gratuitamente na loja de aplicativos da Google (AppStore)¹¹.

¹⁰ Sistema operacional aberto típico de Smartphones

¹¹

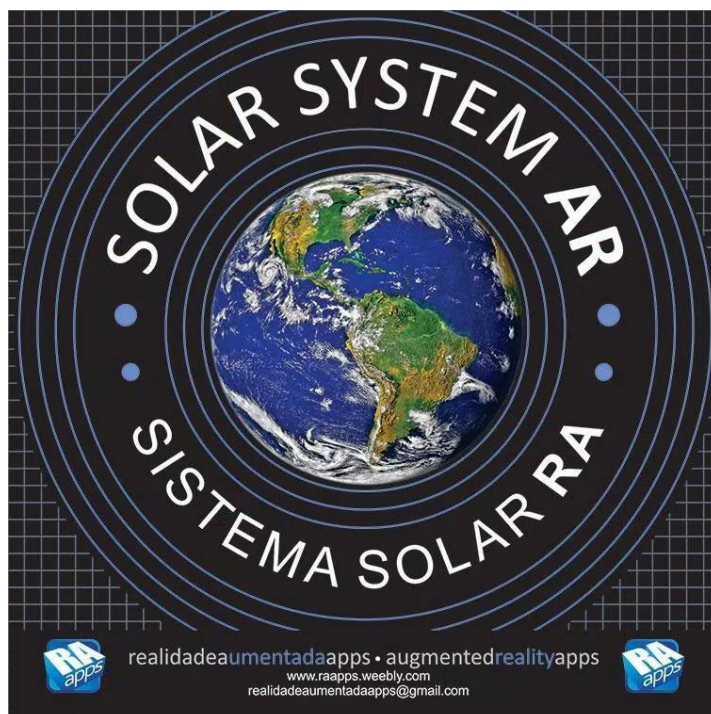
Figura 6.3.: Solar System RA



Fonte: do próprio autor

Neste, o marcador fiducial (Figura. 6.8.) foi exposto em um smartphone pertencente a um aluno e lido por outro conforme a figura 6.7. e este pôde visualizar então, o movimento dos planetas em suas respectivas orbitas e comentar sobre o que via.

Figura 6.4.: Alvo Fiducial do Solar System RA



Fonte: disponível em <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.RaApps.SolarSystemRA&hl=pt&pli=1> (acesso em 25/04/2023)

6.1.3. APRESENTAÇÃO DO CARDBOARD

Paralelo a observação do sistema solar em Realidade Aumentada, realizada por grupo de 3 e 4 alunos, o pesquisador separou alguns alunos para fazer a mesma observação em Realidade Virtual utilizando um smartphone com o primeiro App (AR Solar System) e um cardboard adquirido pelo mesmo (Figura. 6.9.)

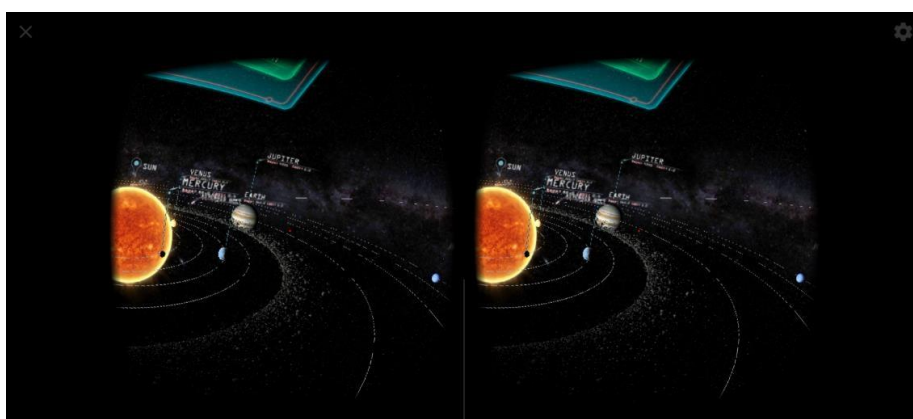
Figura 6.5.: Aluno (a) utilizando o CardBord



Fonte: do próprio autor

A Figura 6.10. mostra a imagem de par estéreo observada pelos alunos no aplicativo AR Solar System.

Figura 6.6.: Imagem de par Estéreo App do AR Solar System



Fonte: do próprio autor

Após as devidas observações, os alunos relataram que puderam observar que todos os planetas orbitavam o Sol, no entanto, em tempos diferentes e alguns com trajetórias “estranhas” (referiam-se ao

planeta que apresentavam maior excentricidade).

O grupo que usou o AR Solar System em Realidade Virtual, relatou que viu “um monte de pedras” (cinturão de asteroides entre Marte e Jupiter) e o outro, que usou o Solar System RA, relatou que não observou os mesmos objetos.

Ambos concordaram que viram os planetas girarem ao redor do sol em formas parecidas de trajetórias e em tempos e velocidades diferentes, no entanto, nenhum observou o movimento de rotação dos planetas, pois o app de fato não inclui este movimento em sua simulação.

6.1.4. APRESENTAÇÃO DO TERCEIRO APP

Após um pequeno debate espontâneo e não programado no cronograma do pesquisador, ele apresenta um terceiro aplicativo com simulação em Realidade Aumentada, no entanto, disponível apenas para smartphones com sistema operacional IOS¹², o COSMO CREATOR AR, desenvolvido em 2017 por Mihai Ghisere e disponível gratuitamente na loja de aplicativos AppStore¹³.

Trata-se de um jogo em Realidade Aumentada, onde o jogador deve construir um sistema planetário em equilíbrio, no entanto este simula muito bem as leis de Kepler e a lei da Gravitação Universal de Newton.

O pesquisador disponibilizou o seu próprio smartphone para que outro grupo de alunos participasse da experiência imersiva conforme a Figura 6.11.

Figura 6.7.: Construindo um sistema planetário em equilíbrio com o Cosmo Creator RA



Fonte: do próprio autor

¹² Sistema típico de Smartphones da linha Iphone, produzidos pela empresa APPLE.

¹³ <https://apps.apple.com/us/app/cosmos-creator-ar-universes/id1274468408>

Após o tempo determinado para esta etapa, novas observações espontâneas surgiram entre os alunos que participaram. Principalmente sobre a dificuldade que tiveram de colocar o planeta em órbita, pois, “eram atraídos sempre para o Sol” a menos que lançassem com uma “certa velocidade”.

6.1.5. DEBATE E REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Após a experiência imersiva por meio do uso dos três aplicativos, uma roda de conversa direcionada pelo pesquisador foi aberta com o intuito de ouvir o que observaram e se eram capazes de pensar sobre as causas ou efeitos do movimento dos corpos celestes assim como propor um modelo de explicação a partir do que viram conforme a proposta da Base Nacional Curricular Comum: (EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

Naturalmente destacaram a importância de existir um corpo massivo no sistema para que este se encontre em equilíbrio. Contudo, a importância da distância entre os corpos, passou despercebida pelos alunos, que, ressaltando, apresentaram um baixíssimo nível de conhecimento sobre Gravitação ou Astronomia.

Foram destacados neste debate:

- As trajetórias que ficavam mais “esticadas”, quanto mais longe do Sol, os planetas estavam posicionados.
- Os diferentes tempos para completar a revolução.
- As diferentes velocidades de revolução.
- A variação da velocidade do planeta ao longo da órbita
- No momento de construir o sistema, alguns planetas caíam no sol e outros se soltam e seguem em linha reta sem mudar sua velocidade.

Em nenhum momento houve comentários que formalizem qualquer lei da Gravitação Universal. Sendo assim, aplicou-se novamente o questionário para a verificação e comparação de respostas.

As estatísticas apresentadas em todas as Figuras do item 6.1.1. deste produto educacional, permaneceram as mesmas, exceto as da Figura 6.5. que se refere à movimentação dos planetas. Esta

mudou para 100% dos alunos entender que planetas se movem.

As principais mudanças de respostas foram quanto ao entendimento acerca do que são equais corpos celestes conhecem, sobre a causa dos movimentos dos planetas, órbitas, períodos e trajetórias.

Vale ressaltar ainda que na primeira aplicação do questionário, havia respostas completamente absurdas como a crença de que o ar faz os planetas se moverem.

6.1.6. RETOMADA DOS NOVOS SABERES

Na aula seguinte o pesquisador, usando um modelo tradicional de aula expositiva com anotações em lousa, formaliza então a teoria da Gravitação Universal, no entanto, com aplicação de um exercício de sondagem aos moldes do vestibular tradicional ou ENEM.

Constata-se uma ativa participação dos alunos com exemplos baseados nas observações em simulação com que tiveram contato na aula anterior. Somente neste momento, o professor propõe a relação entre as distâncias entre os corpos celestes e influência que esta exerce na força de atração, aceleração e velocidades deles em órbita.

Houve uma aula com maior participação e interesse, visto que os alunos tiveram a oportunidade de uma previa observação do objeto de conhecimento e em anos anteriores à aplicação deste produto pelo pesquisador, ele constatou um latente desinteresse que refletia em notas avaliativas medianas ou baixas havendo ainda a narrativa: Esse assunto é até interessante, mas de onde veio essa ideia?

Com o resgate histórico feito na aula, sobre a evolução dos modelos planetários até o anúncio das leis da gravitação universal, como hoje conhecemos, houve uma aprendizagem significativa, pois, com sucesso, do uso de simulações através de tecnologias disruptivas como instrumentos mediadores, trouxe a esta unidade de aprendizagem, o estímulo e a busca por este saber em especial, corroborando com a proposta de Carl Roger (Rogers, 1972) em sua obra que é o referencial teórico deste produto educacional.

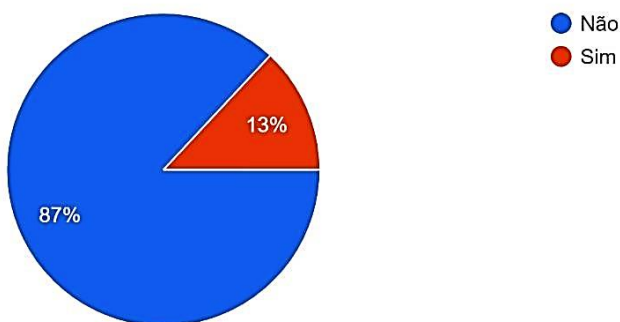
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mencionado na seção 6.1. um questionário apresentava perguntas objetivas e discursivas, foi aplicado para a análise estatística descritiva e algumas de sondagem pessoal para a análise indutiva.

Destacam-se a seguir, as estatísticas de sondagem das Figuras 7.1, 7.2., 6.4., 6.5. e 6.6., que nos mostram o panorama da turma nas perguntas de caráter objetivo da primeira aplicação.

Figura 7.1.: Sobre a oportunidade de observar corpos celestes

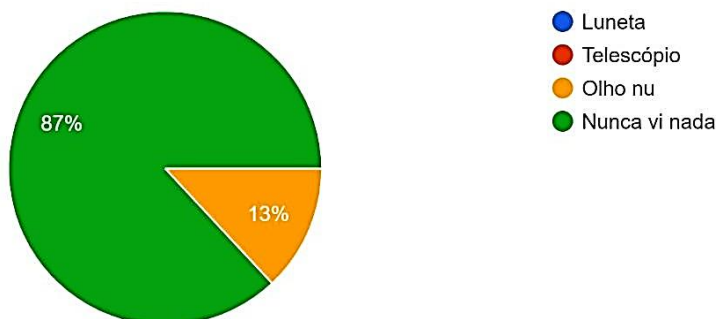
Você já viu algum planeta olho nu no céu noturno?
23 respostas



Fonte: do próprio autor

Figura 7.2.: Complementar

Que instrumento usou?
23 respostas

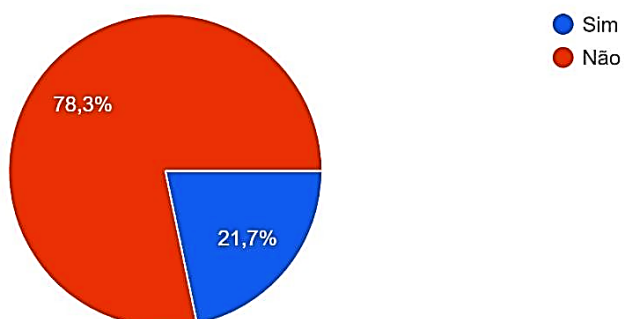


Fonte: do próprio autor

Figura 7.3.: Sobre a oportunidade de visita a um planetário.

Você já teve a oportunidade de visitar um planetário?

23 respostas

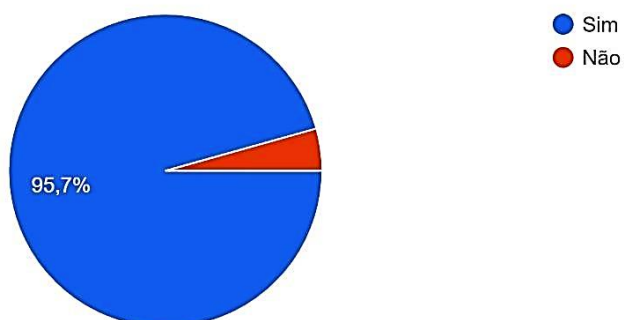


Fonte: do próprio autor

Figura 7.4.: Sobre o conhecimento básico de dinâmica celeste.

Planetas se movem?

23 respostas

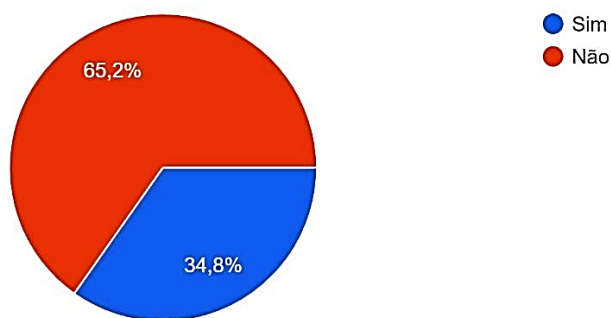


Fonte: do próprio autor

Figura 7.5.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

Você conhece alguma teoria que explique a formação do sistema solar?

23 respostas



Fonte: do próprio autor

Nessa amostragem é possível verificar a presença ou não de subsunçores para uma ancoragem dos novos conceitos e leis. Contudo, é interessante a análise dos itens plotados nos gráficos das figuras 7.4 e 7.5, pois as respostas mostram que, apesar de reconhecerem estatisticamente que planetas se movem, há um desconhecimento a cerca da proposição de alguma teoria que proponha a origem do sistema solar, em alguns casos, haviam alunos (sobretudo do 1º ano do ensino médio) que acreditavam que o sistema solar sempre existiu e que os planetas sempre se moveram sem uma causa relevante ou objetivo disto.

Para a lapidação desta conclusão, o pesquisador adicionou a este instrumento, as seguintes perguntas discursivas para uma análise qualitativa dos saberes pré-existentes:

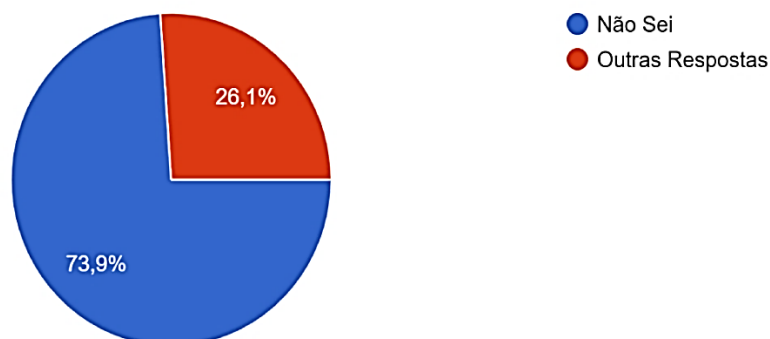
- O que você entende sobre corpos celestes?
- Quais corpos celestes você conhece?
- O que é necessário para um corpo celeste ser considerado planeta?
- O que faz os planetas se moverem?
- Como os planetas se movem?

Nesta análise e discussão de resultados, o pesquisador pretendia identificar se os alunos conseguiam caracterizar ou explica o movimento dos corpos celestes, sobretudo nos 2 ultimos itens que se relacionam ao subsunçor explorado conforme as figuras 7.4. e 7.5. neste, obtemos seguinte análise segundo as figuras 7.6. e 7.7.

Figura 7.6.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

O que faz os planetas se mover?

23 respostas

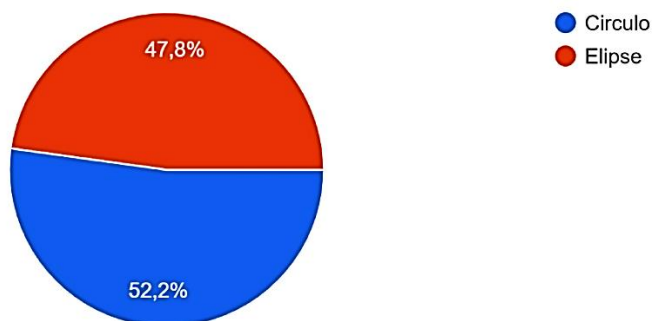


Fonte: do próprio autor

Figura 7.7.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

Como os planetas se movem?

23 respostas



Fonte: do próprio autor

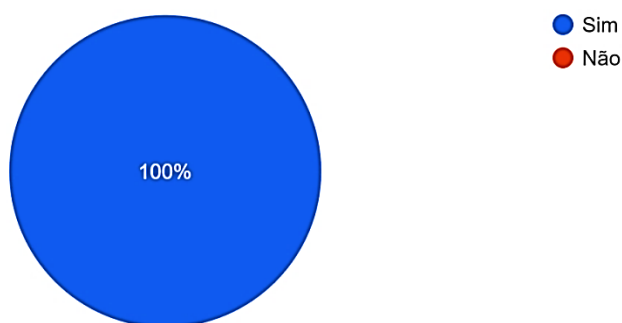
Para obter uma comparação, foi necessário uma segunda aplicação pós apresentação do produto educacional e antes da aula expositiva. No entanto, o foco será apenas em 3 perguntas que são fundamentais para a comparação de desenvolvimento de habilidade.

Os novos resultados estão plotados a seguir nas figuras 7.8., 7.9. e 7.10.

Figura 7.8.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

Planeta se movem?

23 respostas

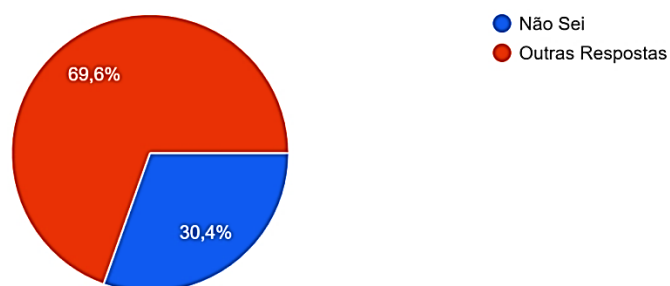


Fonte: do próprio autor

Figura 7.9.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

O que faz os planetas se mover?

23 respostas

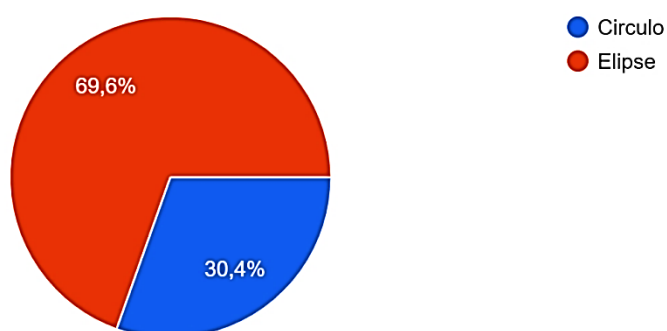


Fonte: do próprio autor

Figura 7.10.: Sobre o conhecimento básico de gravitação

Como os planetas se movem?

23 respostas



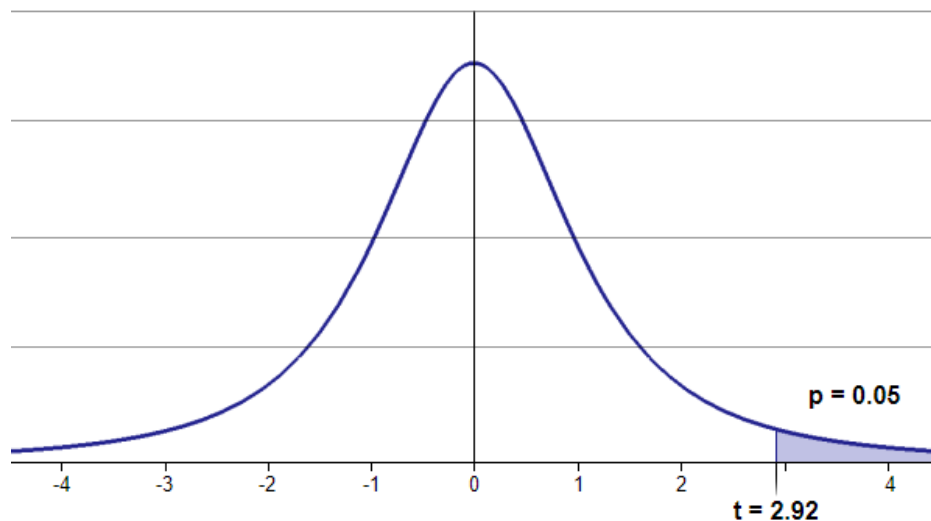
Fonte: do próprio autor

Podemos ainda submeter estes dados a uma análise estatística descritiva comparativa como Teste T pareado obtendo a tabela 7.1. e o gráfico plotado na figura 7.11.

Tabela 7.1.: Teste T Pareado

	ANTES	DEPOIS
Média	12	18,3333333
Variância	75	16,3333333
Observações	3	3
Correlação de Pearson	1	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	2	
Stat t	-2,375	
P(T<=t) uni-caudal	0,07039515	
t crítico uni-caudal	2,91998558	
P(T<=t) bi-caudal	0,1407903	
t crítico bi-caudal	4,30265273	

Fonte: do próprio autor

Figura 7.11.: Teste T Pareado

Fonte: do próprio autor

Contudo, neste observamos que $p > \alpha$ ($p=0,07$), ou seja, temos um valor acima de 5% de significância o que nos mostra que não devemos descartar hipótese nula (H_0), inferindo então que não há evidências suficientes para concluir que a diferença média entre as observações pareadas é estatisticamente significativa e certamente está ligado ao tamanho da amostra usada pelo pesquisador, pois para este questionário, aproveitou-se apenas 3 perguntas sendo analisado a frequência da resposta esperada (tomando-a como correta) em uma evolução temporal ao longo da aplicação do produto.

A sugestão para tornar significativamente relevante, além da simples análise gráfica, seria o aumento do número de perguntas no questionário ou o aumento no quantitativo de alunos testados,

no entanto, ambos resultariam em uma maior disposição de tempo para a aplicação do produto, o que tornaria pouco viável para o tempo de aula disponível conforme a proposta inicial do cronograma desta UEPS.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional aplicado mostrou-se eficiente, baseando-se em um modelo híbrido de aprendizagem significativa em que, para Rogers e Ausubel, o aluno precisa querer atribuir novos significados aos subsunçores que foram identificados na aplicação do primeiro questionário e, uma vez estimulados pela mediação, como propõe Vygotsky, houve de fato a construção de novos saberes por meio do uso das simulações em RA e RV, constatada na mudança de pensamento a cerca da compreensão do assunto onde, inicialmente, os alunos demonstram alto índice de desconhecimento e isto influencia diretamente em posteriores argumentações.

Mesmo que em uma comparação estatística através de um teste T pareado, os dados levantados não apresentem evidências de significância estatística para a aquisição das habilidades cognitivas medidas através das respostas esperadas e isso se deve única e exclusivamente a baixa amostragem. Destaca-se que em uma análise individual de desempenho (por isso a medida de aprendizagem deve ser centrada no saber individual e não coletivo) ainda se mostra favorável ao que podemos afirmar que são evidências de uma aprendizagem significativa.

Vale ressaltar que a aplicação deste produto despertou em alguns um maior interesse pelo assunto e o levou a buscar mais conhecimento através de documentários e até mesmo o interesse em participar das Olimpíadas Brasileiras de Astronomia.

O pesquisador, ao aplicar este produto, pôde perceber ainda que, em anos anteriores a este, o objetivo do estudo da Gravitação parecia não ter elo com o capítulo do livro e com os demais conteúdos de física apresentados, sendo este, “mais um assunto que cai na prova”, mas sem levar a uma interpretação crítica ou mesmo sem importância histórica.

Constatou-se ainda que um número maior de alunos que refletiu sobre o lançamento de foguetes e o melhor local para este, visto que compreenderam o que é gravidade em uma proposta Newtoniana para a Mecânica.

Ainda destaco que este produto pode ser aplicado em outros assuntos da Física e até mesmo em outras disciplinas de acordo com a série que queria ser trabalhada bem como o seguimento estudantil. Basta apenas uma pesquisa prévia para obter aplicativos que sirvam de mediadores eficazes dentro da proposta pedagógica para o ensino de um determinado saber. O *modus operandi* é o mesmo e ainda pode e será aprimorado a fim de potencializar o poder de síntese do aluno para que este proponha modelos de explicação de fenômenos, com pilares científicos e ainda, que deles se extraia, propostas de intervenção para problemas tecnológicos ou ambientais.

Este produto trouxe ao público-alvo, uma satisfação em aprender e um estímulo à busca de novos saberes para além da sala, das equações expostas e até mesmo da proposta do ensino médio para o assunto,

visto que há programas como o das Olimpíadas Brasileira de Astronomia, com maior abrangência e aplicação dos conteúdos abordados, além da reflexão da vastidão do universo e que não são leis que se aplicam apenas a nosso sistema planetário, mas tem validade universal.

REFERÊNCIAS

- ALIGHIERI, D. T. **Divina Comédia**. 6. ed. São Paulo: Martin Claret, 2011
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.
- ALMEIDA, A. R. S. A emoção na sala de aula. Campinas, São Paulo: Papyrus, 1999.
- AUSUBEL, D. P. (2003). **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- BASSALO, J. M. F. A crônica da gravitação. parte 1: das primeiras civilizações à grécia antiga. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v.7, p. 70-81, 1990.
- BARBOSA, Bruno Killiam Nascimento. **Realidade aumentada como ferramenta de apoio para ensinar Eletromagnetismo**. Dissertação - UFPA. Belém. p. 100. 2020.
- BATISTA, Fernando Wagner Ferreira. **Sequencia didática para implementação de um mini curso de astronomia**. Dissertação - UFPA. Belém. p. 156. 2020
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Curricular Comum**, Brasília: MEC. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em 20 dez. 2022
- BRASIL. Ministério da Educação. **Matriz de referência ENEM**. Disponível em: https://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf. Acesso em: 28 dez. 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação. Programa Nacional do Livro e do Material Didático Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12391:pnld>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.394., de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.htm. Acesso em: 13 dez. 2022.
- BRITO, Jefferson Corrêa. **Uma proposta de ensino pela pesquisa em laboratórios multidisciplinares: A Implementação do Comitê Científico na Escola Pública e a construção de uma Smart Home usando Plataforma Arduino**. Dissertação, p. 170. UFPA, Belém, 2018.
- COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes**. 3ª ed. Tradução: A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014.
- COSTA, F. C. **Black Mirror: O Ensino de Física do Quadro Negro para as Telas de**

Smartphones. Trabalho de Conclusão de Curso. p. 21 , UFPA, Belém, 2018.

DUTRA, G. Modelos Planetários e Leis de Kepler - Disponível em: <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> Acesso em: 29 dez. 2022.

FAW, Terry. **Psicologia do Desenvolvimento: infância e adolescência.** São Paulo: Mcgraw-Hill., 1981.

GILMORE, R. **Alice no País do Quantum:** a física quântica ao alcance de todos. Rio de Janeiro: Zahar., 1998.

GINSBURG, H. P. **Piaget's theory of intelectual development.** New Jersey: Prentice Hall, 1998.

ICB/USP. (2017).ICB/USP. Fonte: Sistemas sensoriais: Generalidades: <http://fisio2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula3.pdf>

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; KRANE, K S. **Fundamentos de Física.** 9ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014. v. 2

IME. (28 de 12 de 2022). Fonte: IME: <http://www.ime.unicamp.br/~sandra/CCA/history/eudoxo/eudoxo.html>

LÉVY, Pierre. **A inteligência coletiva:** por uma antropologia do ciberespaço. 2ª ed. São Paulo: Loyola, 1999.

MACHADO, R.E.G., **Aristarco de Samos, Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua.** Santiago, Chile. 2016 <https://ia800208.us.archive.org/33/items/AristarcoDeSamosTamanhosDistanciasSolLua/AristarcoDeSamosTamanhosDistanciasSolLua.pdf>

MACLEAN, P. D. Psychosomatic disease and the "visceral brain"; recent developments bearing on the Papez theory of emotion. **Psychosomatic Medicine.** Estados Unidos, v. 11, n. 6, p. 338–353, nov./dez, 1949.

MACLEAN, P. D. **The triune brain in evolution: role in paleocerebral functions.** Nueva York: Plenum Press. 1990.

MEES, A. A.. **Implicações das Teorias de Aprendizagem para o Ensino de Física.** Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/amees/teorias.htm>. Acesso em: 13 jun. 2019.

MIRANDA Jr., José Alberto de. **Ensino pela pesquisa na sala de Aula do Ensino Médio: o uso de torneios de Física como atividades complementares.** Dissertação - UFPA, Belém. p. 106. 2018.

MELO, L. S. . **Tecnologias Disruptivas no Contexto da Transformação Digital.** 2020 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)–Universidade de Brasília, Faculdade UnB, Gama, 2020. Fonte: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/26361/1/2019_LeonardoSagmeisterDeMelo_tcc.pdf Acesso em: 20 dez. 2022

MONTIEL, J. M, CAPIVOLLA, F. C. **Atualização em transtornos de aprendizagem**. São Pulo: Artes Médicas, 2009

MOREIRA, M. A. **Subsidios Teoricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências - Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: E.P.U. 1999

MOREIRA, M. A. abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**. Niterói, v.4, n. 1, p.2-17, 2011. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/ensinosaudeambiente/article/view/21094>. Acesso em: 20 dez. 2022

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos**. São Paulo. 2011. Fonte: https://lfeditorial.com.br/wp-content/uploads/2022/04/9788578611118_Aprendizagem-Significativa.pdf Acesso em: 20 dez. 2022

MOREIRA, Marco Antonio; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999.

NASA. **Desafio MarsXR da Nasa**. Estados Unidos: Sara Loff (ed.), 15 mai 2022. Disponível em: [marsxr-challenge: https://www.nasa.gov/marsxr-challenge/](https://www.nasa.gov/marsxr-challenge/). Acesso em: 28 dez. 2022.

NEWTON , Isaac. **Principios Matemáticos da Filosofia Natural**. São Paulo: Folha de S. Paulo, 2010

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. **Curso de física básica 1**. São Paulo: Blucher, 2013.

OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; SANTOS, Anderson Oramisio; CARDOSO, Marcia Regina Gonçalves; OLIVEIRA, Camila Rezende de. **As ideias de Rogers e o processo de ensino-aprendizagem de matemática**. *Cadernos da Fucamp, Monte Carmelo*, v. 20, n. 44, p. 131-150, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2404>. Acesso em: 20 dez. 2022

ORZEL, Chade. **Como ensinar física para seu cachorro**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/tri/sead/publicacoes/documentos/livro-teorias-de-aprendizagem>. Acesso em: 20 dez. 2022

PIAGET, Jean. **O raciocínio na criança**. Rio de Janeiro: Record, 1967.

PROJEÇÃO da Cúpula completa. Planetario cosmocaixa 3D. Museu de la Ciencia Cosmocaixa. Barcelona, [s.d.]. Disponível em: https://cosmocaixa.org/es/p/planetario-3d_a385054. Acesso em: 29

dez. 2022.

RIBEIRO, Gyulianna Pinheiro. **Aplicação de uma sequência didática de ensino usando a teoria dos campos conceituais para o estudo das leis de Kepler no ensino médio**. Dissertação - UFMA. São Luiz. p. 211. 2020

RIPPER, Afira V. Significação e mediação por signo e instrumento. **Temas em Psicologia**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 25- 30, 1993. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/tp/v1n1/v1n1a05.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022

ROCHA, Jonyson Marcs Borges da. **Estudo da Calorimetria: uso dos dispositivos térmicos acessíveis**. Dissertação - UFPI. Teresina. p. 136. 2018.

ROGERS, Carl R. **Liberdade para Aprender**. 2ª ed. Belo Horizonte: Interlivros de Mins Gerais. 1972.

RONCH, S. F. A., ZOCK, A. N., LOCATELLI, A. (Jun de 2015). Aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para introdução dos conteúdos de química e biologia no ensino médio. *Polyphonía*, pp. 485-498. ufrb.edu.

SANTOS, Letícia Rodrigues; ANDRADE, Elisangela Ladeira de Moura; FERNANDES, Juliana Cristina da Costa; LIMA, Emmanuela. As contribuições da Teoria da Aprendizagem de Lev Vygotsky para o desenvolvimento da competência em informação. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 17, pp. 1-15, 2021. Disponível em: <https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/1489/1334>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira Saraiva; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; MULLER, Alexei Machado. **Newton e as generalizações das Leis de Kepler - Gravitação**. p. 1-19, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula7-132.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SCHERRER, Walter. Indústria 4.0 como uma 'mudança repentina': a relevância de longas ondas de desenvolvimento econômico para o nível regional. **European Planning Studies**, [s. l.], v.29, n. 9, p. 1723-1737, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/09654313.2021.1963054?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SCHUELKE-LEECH, Beth-Anne. A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 129, n. 4, pp. 261-274, abr. 2018.

SILVA, Thais. Gama da. **Protagonismo na adolescência: a escola como espaço e lugar de desenvolvimento humano**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Centro de Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: http://ppge.ufpr.br/teses/M09_gamasilva.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

SIQUEIRA, Sarah David. **A neurobiologia das emoções e sua integração com a cognição em crianças no ambiente escolar**. Belo Horizonte: UFMG, 2018. Disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ICBB-BD4UPT/1/monografia_sarahdavid_final.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

SLATER, M. WILBUR, S. **A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments**. 1997

SOARES, José Renildo Moura. **Proposta de uma sequência didática para o ensino da relatividade geral no ensino médio com a utilização da realidade virtual**. Dissertação - UFRN. Natal. p. 93. 2021.

SOUSA, I. S. Estreitando caminhos para a aprendizagem: Carl Rogers e a teoria da aprendizagem centrada no aluno. **Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v. 7, n. 11, p. 1904-1915, nov. 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3714/1444>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUSA, L. C. N. **Uma proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre gravitação universal para o Ensino Médio**. 2019. 129f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28327>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. Unidades de ensino potencialmente significativas. **Revista Dynamis**, Blumenau, v.25, n.1, p. 113-128, 2019. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/7627/4182>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUZA, M. V. L.; LOPES, E. S.; SILVA, L. L. Aprendizagem significativa na relação professor-aluno. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v.13, n. 2, p. 407-420, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/3926/Aprendizagem%20Significativa%20na%20Rela%C3%A7%C3%A3o%20Professor-Aluno>. Acesso em: 26 dez. 2022.

TORI, R; HOUNSELL, M. S; KIRNER, C. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. 3. ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Ciências Biomédicas. Sistemas sensoriais: Generalidades. 2017. Disponível em: <http://fisio2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula3.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - IME. **Biografia dos matemáticos**. Campinas. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~sandra/CCA/history/eudoxo/eudoxo.html>. Acesso em: 28 dez. 2022.

UTTERBACK, J. M; ACEE, Feliz J. Disruptive technologies: an expanded view. p. 1-17. **Jornal Internacional de Gestão da Inovação**, v. 9, n. 01, p. 1-17, 2005. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9781786347602_0001. Acesso em: 26 dez. 2022.

VERGNAUD, G. **Teoria dos campos conceituais**. In Nasser, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. p. 1-26. 1993.

VILELA, José Sérgio; GOUVEIA Pedro; GOMES, Ricardo. Fotografia 360°. Lisboa. Disponível em: <https://fotograf360.weebly.com/360ordm-vs-3d.html>. Acesso em: 26 dez. 2022.

VIEIRA RIBEIRO, Antônio Carlos. **Manual para desenvolvimento de Simulações em Geogebra: Um recurso didático para o ensino de cinemática na educação básica**. Dissertação - UFMA. Maranhão. p. 204. 2018.

VOLTAIRE. **Elementos da filosofia de Newton**. São Paulo: Unicamp, 2015.

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente**. 2ª ed. brasileira. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

APÊNDICE



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 37**

Fábio Cunha Teixeira da Costa

PRODUTO EDUCACIONAL

Proposta de Aprendizagem das Leis de Kepler para Alunos do Ensino Médio por Meio de Tecnologias Disruptivas.

Belém / Pa.

2023

Fábio Cunha Teixeira da Costa

Proposta de Aprendizagem das Leis de Kepler para Alunos do Ensino Médio por Meio de Tecnologias Disruptivas.

Dissertação apresentada ao Polo 37 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Pará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino Médio.

Orientador: Dr. Klaus Cozzolino
Coorientador: Titulação Nome e Sobrenome

Belém / Pa.

2023

AGRADECIMENTOS

Ao Supremo Arquiteto do universo que concedeu a possibilidade de aqui estar para poder crescer e desenvolver para expandir o conhecimento e experiência que tive a oportunidade de adquirir ao longo dessa jornada que denominamos vida.

Agradeço a minha esposa, meus filhos, mãe, pai, irmãos, família e amigos pelo apoio emocional e a oportunidade que, em especial, minha mãe, me deu, de ter acesso a livros, sendo ela bibliotecária.

Ao meu orientador Prof. Dr. Klaus Cozzolino pela compreensão, paciência e apoio em todos os momentos, meus mais sinceros agradecimentos.

A Sociedade Brasileira de Física que concedeu a oportunidade para que todos os profissionais da educação pudessem assim como eu subir mais um degrau na sua formação profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos meus professores do mestrado bem como a todos os servidores na Universidade Federal do Pará que de alguma forma foram importantes nessa jornada.

Sumário

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
2.1. A TEORIA APRENDIZAGEM SIGNIFICANTE	7
2.2. TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE PIAGENT	8
2.3. TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY	8
2.3.1.A MEDIAÇÃO	9
2.3.2.INSTRUMENTOS E SIGNOS.....	9
2.3.3.ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)	10
2.4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL SOB O OLHAR DE MARCO ANTONIO MOREIRA	10
2.5 FUNDAMENTAÇÃO BASE	11
3. CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS.....	12
3.1. SOBRE OS MODELOS PLANETÁRIOS	12
3.1.1.O MODELO GEOCÊNTRICO DE PTOLOMEU	13
3.1.2.O HELIOCENTRISMO DE COPÉRNICO	14
3.2. AS LEIS DE KEPLER.....	15
4. TECNOLOGIAS DISRRUPTIVAS E O ENSINO DA FÍSICA.....	19
4.1. A REALIDADE VIRTUAL E A REALIDADE AUMENTADA	21
4.2. TECNOLOGIA DA REALIDADE AUMENTADA	21
5. APRESENTAÇÃO DETALHADA DO PRODUTO	24
5.1. FICHA SINTESE	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
7. REFERÊNCIAS	36

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Estimados professores, este material é um produto educacional apresentado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, oferecido pela Sociedade Brasileira de Física em conjunto com a Universidade Federal do Pará polo 37.

Este produto consiste em uma proposta para o ensino de Leis de Kepler baseado na proposta de Carl Roger que direciona o professor a ser um mero facilitador e que o aluno, precisa querer aprender, antes do contato com o objeto e conhecimento. Para isso, como estímulo, adequo uma unidade de ensino potencialmente significativa através do uso de tecnologias disruptivas de Realidade Virtual, como um passeio pelo sistema solar usando um VR Box¹ industrializado ou de baixo custo produzido por empresa local, vídeos 360° próprio para experiências imersivas e, adaptados para a formação de imagem par estéreo (conceito explorado na seção que trata da fundamentação teórica), também através de uso de realidade aumentada no aplicativo AR Solar System, desenvolvido em 2018 pela Vuforia Developer.

Este trabalho tem como objetivos, primeiramente, valorizar um conteúdo tão interessante e de grande relevância histórica e estimular professores a promover a cultura digital proposta na competência geral 5, quebrando o paradigma de que o celular em sala é uma distração, quando na verdade, pode ser um potente aliado e mediador, sendo este tão presente na vida dos alunos, muitas vezes até mais que a família. E sendo direcionado ao uso correto, pode ser mais revolucionário que a impressão de livros em seu tempo.

¹ Dispositivo óptico próprio para a visualização em realidade virtual

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O século XX foi marcado pelo desenvolvimento das mais importantes teorias que norteiam a educação e o sistema educacional contemporâneo. Entre essas, a presente dissertação de mestrado se fundamenta em três pilares que considero fundamentais para a proposta de produto educacional bem como sua aplicação. A teoria humanista de Carl Rogers (1902-1987) que desenvolve uma abordagem centrada na pessoa, neste caso, o aluno, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel segundo o olhar de Marco Antoni Moreira e suas ferramentas para implementação (SED e UEPS), Jean Piaget (1896 - 1980) e sua teoria sobre o desenvolvimento cognitivo dividido em etapas que precisam ser respeitadas dentro do processo ensino-aprendizagem e Lev Vygotsky (1896-1934) e seu conceito de mediação para desenvolvimento cognitivo pautado no contexto social e cultural do indivíduo.

Além da base pedagógica, é importante para o professor de física de ensino médio ter o conhecimento base sobre o desenvolvimento do objeto de conhecimento e um pouquinho de neurociência e sobre a tecnologia mediadora em si, para que entenda como tais estímulos podem levar os alunos a aprendizagem significativa.

2.1. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICANTE DE ROGERS

Diferente da proposta de Ausubel (1968), que considera apenas os aspectos cognitivo, afetivo e psicomotor do indivíduo, para que a aprendizagem seja significativa, Rogers (1969) considera o aluno como pessoa e como um todo (pensamento, sentimento e corpo físico) e isto também nos remete ao contexto social e temporal deste. Ele acreditava que o ser humano, em especial, tem uma forte tendência a se atualizar e a se esforçar de modo contínuo, sendo este indivíduo considerado padrão ou atípico. Desse modo, o ser humano constrói pouco a pouco quem realmente é para que se sinta realizado. Para Rogers, professor deve ser um facilitador e um incentivador na aprendizagem do aluno e, assim como o aluno, o professor também é uma pessoa com sentimentos e problemas e isto pode influenciar no resultado da aprendizagem ou na construção de determinadas estruturas cognitivas. Um dos princípios fundamentais para a aprendizagem, segundo Rogers, é que o indivíduo tem uma potencialidade natural para aprender.

2.2. TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE PIAGET

Segundo a teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget (1896 - 1980), o “[...] sujeito possui uma arquitetura cognitiva variável (que aprende) e se desenvolve através de funções gerais invariantes – adaptação e organização. [...] A mente é uma estrutura (cognitiva) que tende a funcionar em equilíbrio, aumentando, permanentemente, seu grau de organização e de adaptação ao meio. Quando este equilíbrio é rompido por experiências não assimiláveis, a mente tende a se reestruturar através da construção de novos esquemas de assimilação e atingir novo estado de equilíbrio. Esta reestruturação corresponde ao que Piaget chama de acomodação.” (Moreira, 2016. p.13)

O papel do professor segundo a teoria piagetiana, seria atuar como elemento desconstrutor de paradigma e promotor do conflito cognitivo, pelo qual o sujeito construirá novos esquemas de assimilação, aumentando a sua carga cognitiva.

Ainda dentro da teoria de Jean Piaget, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo, ocorre de forma distinta (predominantemente e não canônico) em quatro etapas cronológicas: Sensorio-Motor (0 a 2 anos de idade), Pré-Operacional (2 a 7 anos), Operacional Concreto (7 a 12 anos de idade) e Operacional Formal (12 anos em diante).

Quadro 2.1.: Resumo sobre as etapas do desenvolvimento cognitivo.

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO			
Sensorio-Motor (0 a 2 anos)	Pré-Operacional (2 a 7 anos)	Operacional Concreto (7 a 12 anos)	Operacional Formal (Acima de 12 anos)
Evolução da percepção e motricidade.	Interiorização dos esquemas de ação. Surgimento da Linguagem do simbolismo e da imitação deferida.	Construção e desconstrução cognitiva. Compreensão da reversibilidade sem coordenação dela. Classificação, seriação e compreensão simples.	Desenvolvimento de operações lógicas matemática e infra lógicas, da compreensão com plexa (razão) e da probabilidade (indução de leis).

Fonte: (Piaget, 1967)

2.3. TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY

Dentro da teoria de Lev Vygotsky encontra-se o principal motivo para o desenvolvimento do produto educacional proposto neste projeto de pesquisa para dissertação de mestrado.

A teoria Vygotskyana amplia a visão Piagetiana através da interação sócio-histórico-cultural do indivíduo, destacando o papel fundamental da linguagem como mediadora para a

construção de um modelo simbólico que recrie a realidade em sua psique.

Para o desenvolvimento de uma habilidade cognitiva (Vygotsky não usava este termo), o indivíduo precisa se submeter a interação com outros, indivíduos, culturas e me atrevo a destacar segundo a mesma visão, as tecnologias. Este contato gera a esperada quebra de paradigmas que permitem a recriação novas linguagens, códigos e símbolos, assim como novos esquemas de assimilação são incorporados à realidade dele.

Mediação, Instrumento, Signo e Símbolo, são os principais elementos que dialogam na teoria Vygotskyana e fundamentais para entendermos a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

A interação social é o veículo fundamental para a transmissão dinâmica (de Inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórica e culturalmente construído. Essa interação implica um mínimo de duas pessoas intercambiando significados; implica também um certo grau de reciprocidade e bi direcionalidade entre os participantes desse intercâmbio, trazendo a ele diferentes experiências e conhecimentos, tanto em termos qualitativos como quantitativos. Crianças, adolescentes, adultos, moços e velhos, geralmente não vivem isolados; estão permanentemente interagindo socialmente em casa, na rua, na escola, no trabalho. Vygotsky considera esta interação fundamental para o desenvolvimento cognitivo e linguístico de qualquer indivíduo. (Moreira, 2016. p.20)

2.3.1. A MEDIAÇÃO

A mediação destacaria como similar ao que Piaget nomeia Equilibração de Majorante, pois é o mecanismo pelo qual a acomodação é viabilizada através da conversão das interações soci-ais em funções mentais superiores.

Vygotsky ainda ressalta o uso da linguagem instrumental e uso de signos para a internalização de um saber potencial.

2.3.2. INSTRUMENTOS E SIGNOS

Os instrumentos são os objetos que usamos para executar uma função, já os signos, constituem elementos da linguagem que utilizamos para reconstruir internamente de uma operação externa, a exemplo das funções horarias (signos) que transcrevemos na lousa (instrumento), a fim de reconstruir abstratamente, um modelo que permita o estudante reconhecer características dos movimentos de objetos e partículas.

Moreira (2016) ainda destaca três tipos de signos: Indicadores - usados para destacar ou

reforçar uma informação; Icônicos - desenhos que mostram o significado dos signos; Simbólicos - têm uma relação abstrata com o que significam como, por exemplo, o uso de segmento de retas orientados para significar os vetores.

2.3.3. ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)

Para Ostermann e Cavalcanti, o conceito ZDP é o diferencial na teoria de Vygotsky.

A zona de desenvolvimento proximal é definida como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido através da solução de problemas sob a orientação de alguém (um adulto, no caso de uma criança) ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 1988, p. 97)

2.4. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL SOB O OLHAR DE MARCO ANTONIO MOREIRA

Como já mencionado anteriormente, há uma singela diferença entre os processos de aprendizagem analisados por Rogers (1969) e Ausubel (1968). Para este a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação ou conteúdo interage como conhecimento prévio, ao qual chama de subsunçor, atribuindo a este um novo paradigma baseado na ancoragem hierárquica de conceitos, conforme o desenvolvimento cognitivo do educando iniciando em habilidades simples às mais complexas de acordo com o nível de experiência sensorial.

Moreira afirma que:

“Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servindo de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto, este processo de "ancoragem" da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor. Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos, ou limitados e pouco desenvolvidos, dependendo da frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor.” (Moreira, 2006, p. 15-16).

A metodologia ativa apresentada por David Ausubel, não tira o mérito do método expositivo, mas, se apresenta como um continuum entre o que chama de aprendizagem mecânica e significativa.

Logo, é necessário sim a exposição de leis que foram fruto de observação ao longo de décadas, mas também, a ativação das emoções que atribuirão novos significados ao paradigma do aluno, que no caso deste trabalho, se refere ao movimento dos corpos celestes. Para este papel de facilitador e ferramenta para alcançar o objetivo, Moreira propõe ainda a criação e uso de materiais potencialmente significativos dentro do que chama de Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que por sua vez, deve estar contido em uma Sequência Didática que obedeça a hierarquia de habilidades cognitivas.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que idéias simbolicamente expressas sejam relacionadas, de maneira substântiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, algum aspecto de sua estrutura cognitiva especialmente relevante (isto é, um subsunçor) que pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição já significativa. (Ausubel, 1978, p. 41)

Dentro desta proposta, ainda temos a possibilidade de medir o tipo/nível de aprendizagem, podendo esta, mesmo sendo significativa representacional, quando envolve a aquisição de novos significados para símbolos unitários, pode ser significativa em conceito ou proposicional também, quando novos conceitos ou proposições são assimilados de forma superordenada ou combinatória.

2.4. FUNDAMENTAÇÃO BASE

Esta dissertação de mestrado baseia-se na análise do processo de aprendizagem, seja na perspectiva do educando, que deve ser significativa, ou em uma análise centrada no indivíduo (professor e aluno), que leva em consideração as experiências sensoriais e o estímulo condicionado para o querer aprender com liberdade e o estímulo à recompensa neuro hormonal. O objetivo é a assimilação conceitual e proposicional superordenada em escala hierárquica conforme melhor exposta mais adiante dentro da Base Nacional Curricular Comum e na Matriz de Referência do Exame Nacional do Ensino Médio. Para isso, este produto utiliza as propostas adjacentes de mediação e desenvolvimento cognitivo do aluno.

3. CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS.

O objetivo do estudo das Leis de Kepler é, propor um modelo que explique o movimento de corpos celestes. E isso parecia um pouco perigoso ante os dogmas da igreja católica do século XVI. Tal questionamento levou Giordano Bruno (1548 – 1600) à fogueira da inquisição e Galileu Galilei (1564 – 1642) ao tribunal do Santo Ofício.

Com a consolidação dos alicerces Newtonianos (1687) e as proposições antecessoras de Johannes Kepler (1571 – 1630) e Nicolau Copérnico (1473 – 1543), tornou-se insustentável a crença em um modelo planetário geocêntrico e na Terra plana. No entanto, é lamentável ver que, três séculos depois, voltamos as mesmas discussões ante o obscurantismo científico que hoje, tornou-se latente e perigoso. No entanto, no cenário Brasileiro, a BNCC estimula a reversão deste cenário propondo a seguinte habilidade em sua matriz:

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. (BNCC, 2018)

Com isto, o professor de física deverá estimular o debate analisando os contrapontos e o que tem sentido para o aluno e do ponto de vista científico.

3.1. SOBRE OS MODELOS PLANETÁRIOS

As primeiras observações sistemáticas dos fenômenos e movimentos de corpos celestes, ocorreram, provavelmente na cidade estado da Babilônia e em Nínive no início das civilizações na Grécia Antiga em 3000 a.C. (Bassalo, 1990) e sendo as mesmas feitas por sacerdotes, remontando a ciência helênica marcada por explicações míticas ou que remetem a deidades. No entanto, devemos destacar algumas descobertas relevantes feitas neste período de alguns séculos:

- A comprovação da esfericidade da Terra (Pitágoras de Samos).
- Os alicerces e consolidação de um Modelo Geocêntrico baseados na razão e matemática (Claudio Ptolomeu).
- O debate crítico sobre a movimentação dos corpos celestes e a inclusão da Terra em regras de uma mecânica universal baseada em provas observacionais (Galileu Galilei), e matemáticas fun-

damentadas em medidas astronômicas (Johannes Kepler) e a proposta de um modelo Heliocêntrico (Nicolau Copérnico).

- Explicação plausível sobre a causa dos movimentos dos corpos celestes, fundamentada em uma nova mecânica sofisticada e de validade universal (Isaac Newton).

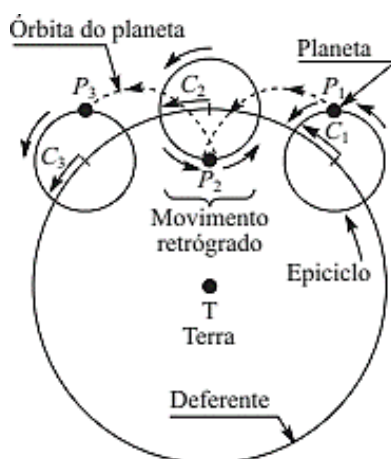
Os primeiros modelos Gregos se valeram de práticas de uma antiga astronomia, baseada em observações a olho nu, lógica segundo a ciência pré-aristotélica.

Já em Alexandria, Claudio Ptolomeu (vide capítulo 3 da dissertação) fundamenta seu modelo Heliocêntrico, muito aceito no mundo antigo, baseado em pilares da filosofia natural de Aristóteles.

3.1.1. O MODELO GEOCÊNTRICO DE PTOLOMEU

Os registros sobre um modelo Geocêntrico foram feitos por Ptolomeu de Alexandria (100 d. C. – 169 d. C.) em seu *Almagesto* e baseiam-se nas anotações de Apolônio de Perga (c. 261 - c. 190) que aplica a trigonometria a seu modelo que usa um sistema epiciclo-deferente. Diferente de Eudoxo usava apenas esferas concêntricas em seu sistema planetário, Apolônio propõe um sistema em que o centro de um círculo menor (epiciclo) se desloca ao longo de um círculo maior (deferente).

Figura 3.1.: Sistema de Ptolomeu – Apolônio.



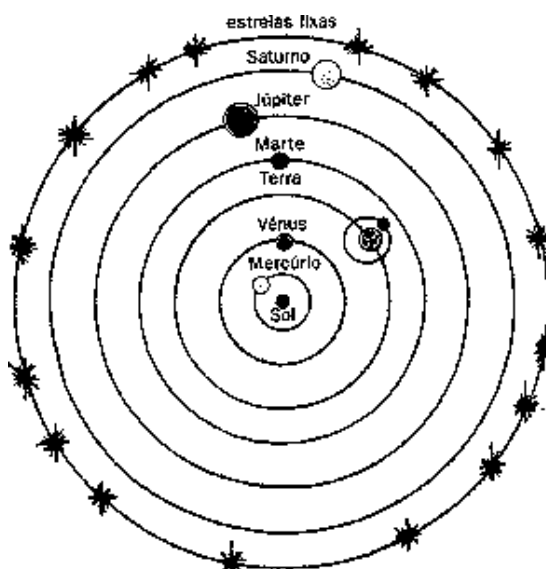
Fonte: disponível em <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> (acessado em 25/12/2022)

O epiciclo representa o movimento circular do planeta e o deferente é um círculo em cujo centro situa-se o astro em torno do qual órbita o planeta. Em seu modelo planetário, Apolônio considerava os planetas girando em torno do Sol, e este, por sua vez, girava em torno da Terra, antecipando-se de dezoito séculos ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) que formulou hipótese semelhante (Bassalo, 1990, p. 74).

3.1.2. O HELIOCENTRISMO DE COPÉRNICO

Em 1530, o astrônomo renascentista polonês Nicolau Copérnico apresenta um modelo matemático em sua obra subversiva **Das Revoluções dos Corpos Celestes**, que reúne dados de 30 anos de pesquisa e medidas, mas nenhuma prova observacional e isto não tornava seu modelo melhor que o defendido por Ptolomeu. Ao contrário da concepção que temos hoje, a obra caiu no obscurantismo medieval, sufocada pela Teocracia dos monarcas e os desmandos da igreja católica e assim permaneceu por cerca de duzentos anos com a circulação de apenas 500 cópias, até que Galileu Galilei (1564 – 1642) e Johannes Kepler (1571-1630) assimilassem a teoria copernicana, aprimorando-a e introduzindo as provas observacionais que faltavam.

Figura 3.2.: Modelo Heliocêntrico de Copérnico.



Fonte: disponível em <https://ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/58-gravitacao-universal?download=210:apostila-modelos-planetrios-e-leis-de-kepler> (acessado em 25/12/2022)

Apesar de não mencionar Aristarco de Samos, ou por desconhecimento ou pelo descrédito das medidas, não há confirmação documental, Copérnico acaba chegando em um modelo muito parecido, porém com mais círculos que coincidem com os seus centros no modelo de Ptolomeu.

3.2. AS LEIS DE KEPLER

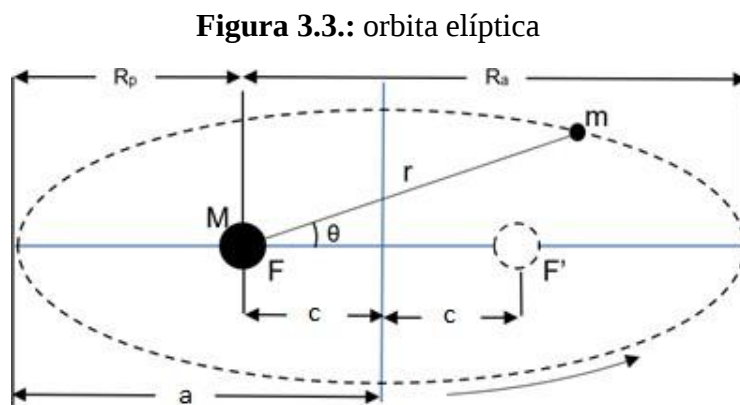
Baseado em dados astronômicos coletados pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 – 1601), último astrônomo a fazer observações sem o uso de telescópio (Halliday, 2012), Johannes Kepler formulou leis empíricas (fruto de observação, sem nenhuma teoria para apoiá-las) sobre o movimento dos planetas. Essas leis mostram que, em relação ao Sol, os planetas apresentam uma série de regularidades e que seus movimentos são muito mais simples de serem descritos em relação ao Sol do que em relação à Terra. Essas leis tiveram grande importância para a substituição do modelo geocêntrico pelo heliocêntrico.

Anos depois de Kepler formulá-las, Isaac Newton (1643 – 1727) as utilizou como base experimental para a formulação da sua teoria da gravitação e pôde "explicá-las" teoricamente. E, apesar de hoje possuírem apenas um interesse histórico, vale a pena conhecê-las.

3.2.1. LEI DAS ÓRBITAS

“Todos os planetas se movem-se em orbitas elípticas, com o Sol em um dos focus” (Halliday, Resnik, Krane, 2014, p.41)

Na Figura 3.3. observa-se na órbita elíptica de um planeta o semieixo maior “ a ” e a excentricidade “ e ”.



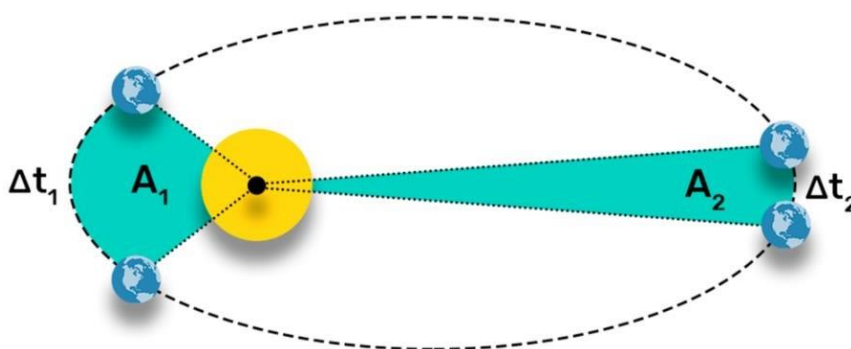
Fonte: H, D – Fundamento de Física, 2014 p.42 (com adaptação do autor)

Sendo “ a ” é o semieixo maior de uma elipse e “ c ” a semidistância focal conforme a **Figura 3.3**, a razão $e = c/a$ chama-se excentricidade da elipse. Para $e = 0$, a elipse degenera num círculo; quanto maior for e , mais “achatada” a elipse.

3.2.2. LEI DAS ÁREAS

Partindo dos dados de T, Kepler fez um cálculo também errado das áreas varridas pelo raio vetor que liga cada planeta ao Sol, e acabou chegando, miraculosamente, à lei certa: “A reta que liga a planta ao Sol varre áreas iguais no plano da órbita do planeta em intervalo de tempos iguais, ou seja, a taxa de variação dA/dt da área com os tempos é constante” (Halliday, Resnik 2014. p.41)

Figura 3.4.: Representação gráfica da 2ª lei de Kepler



Fonte: disponível em <https://aprovatotal.com.br/leis-de-kepler/> (acesado em 26/12/2022)

Assim, num dado intervalo de tempo t , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol); conforme a figura 3.4.

A segunda lei propõe que o planeta não se move em movimento uniforme como no modelo Geocêntrico de Ptolomeu.

3.2.3. LEI DO PERÍODOS

O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior da órbita. (Halliday, Resnik, Krane, 2014, p.42)

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{const} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Assim, se T_1 e T_2 são períodos de revolução de dois planetas cujas órbitas têm raios médios R_1 e R_2 respectivamente conforme a figura 3.6., a 3ª lei afirma que:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \quad (\text{Eq. 3.2.})$$

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^3 \quad (\text{Eq. 3.3.})$$

Kepler publicou sua 3ª lei em 1619, no prefácio de seu livro “*Harmonices Mundi*”.

3.3. A LEI DA GRAVITAÇÃO DE NEWTON

Em 1665, a Grande Peste (nome dado a última epidemia de peste bubônica que se alastrou rapidamente por Londres, dizimando entre 75 e 100 mil pessoas. Como medida de contenção da epidemia, algumas localidades da Inglaterra foram colocadas em estado de “*Lock-down*”, uma espécie de cordão sanitário que restringia a circulação de pessoas entre as fronteiras e houve o fechamento da Universidade de Cambridge, Isaac Newton refugiou-se em sua fazenda de Woolsthorpe, onde, segundo ele mesmo relata:

- Desenvolveu seu binômio e séries binomiais;
- Desenvolveu sua fórmula de interpolação;
- Desenvolveu o Cálculo Infinitesimal (derivada e integral);
- Realizou experimento com luz branca que resultaram na teoria das cores;
- Se debruçou sobre estudos de Kepler e a relação entre a força que atrai corpos próximos da superfície (queda livre) e o que mantém a lua em sua órbita.

Nesta seção, a partir da segunda lei de Kepler para uma órbita de $e = 0$ e raio R , admitindo que a órbita lunar se aproxime desta premissa e que se move em MCU com velocidade angular $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Sendo $a = \omega^2 \cdot R$, teremos:

$$\vec{a} = -\omega^2 \cdot R \cdot \hat{r} = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Onde $\hat{r}$ é o vetor unitário na direção radial. Se m é a massa da lua, a força que atua sobre ela

é dada pela 2ª lei de Newton, logo:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \hat{r} = -m \cdot \frac{4\pi}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Tendo ainda a 3ª lei de Kepler: $T^2 = K$, onde K é uma constante válida para todos os planetas que orbitam a mesma estrela ou objetos/satélites que orbitam um planeta, podemos reescrever a **Eq. 3.9**.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -m \cdot \frac{4\pi}{T^2} \cdot R \cdot \hat{r} = -m \cdot \frac{4\pi}{K \cdot R^3} \cdot R \cdot \hat{r} = -\frac{4\pi}{K} \cdot \frac{m}{R^2} \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Observamos então que já é possível uma primeira conclusão importante, ou seja, que $\vec{F} \propto R^2$

Pela 3ª lei de Newton, a Lua exerce uma força igual e contrária sobre a Terra, a qual deve também ser proporcional à massa M da Terra. Newton foi assim levado à expressão:

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} \cdot \hat{r} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

onde G seria agora uma “constante universal”, característica da força gravitacional.

Contudo, houve um percurso para chegar em G , pois conforme a Eq. 3.10, a proporcionalidade $\frac{4\pi}{K}$ ainda estava indefinida, pois Kepler não havia percebido que $\frac{T^2}{R^3}$ tem relação com a massa do corpo orbitado.

Para solucionar o problema que surge, Newton admite em seu livro III, “O Sistema do Mundo”, que $\frac{4\pi}{K} = G \cdot M$, onde M é a massa da Terra. Deste modo, teremos a mudança da Eq. 3.10 para Eq. 3.11. Contudo, de fato G , foi pela primeira vez, medida por Henry Cavendish em 1798 como auxílio de sua balança de torção (Figura 3.14.) conforme descrito no periódico “PhylosophicalTransactions”.

4. TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS E O ENSINO DA FÍSICA

Quando surge uma tecnologia mais barata, simples e/ou conveniente, essa tecnologia causa uma ruptura na estrutura existente e recebe o nome de Tecnologia Disruptiva (Schuelke- Leech, 2018).

Neste capítulo, proponho uso de tecnologias disruptivas como mediadores e facilitadores no processo ensino-aprendizagem levando em consideração o referencial epistemológico supracitado e o documento base vigente: A base nacional curricular comum, que estabelece as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

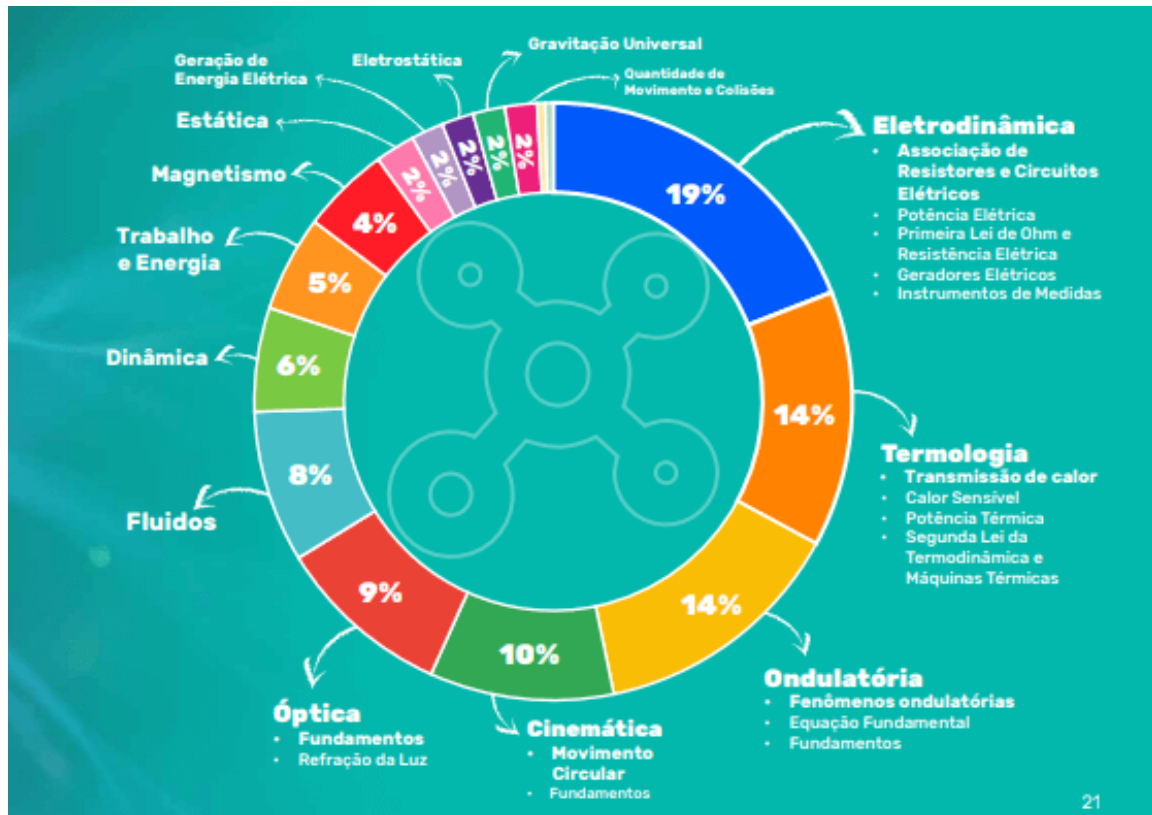
Como exemplos de tecnologia disruptivas, foco no uso da Realidade Aumentada e Virtual como substituta de imagens estáticas desenhadas nas lousas e das abstrações dos “experimentos imaginários” narrados em sala durante as aulas de Gravitação Universal.

Tal proposta, apesar de testada em um grupo de alunos da 1ª e 3ª série do ensino médio é versátil a tal ponto de ser aplicada ao ensino fundamental sem a necessidade de transposição didática, uma vez que é desenvolvida em uma linguagem de simples compreensão dos nativos digitais (geração Z) tem potencial significativo para a aprendizagem valendo-se de uma metodologia ativa centrada no aluno.

O modelo padrão de ensino versa a compreensão de fenômenos através, principalmente, de aulas expositiva e resolução de itens construídos com base na matriz de referência do exame nacional do ensino médio que, para o tema Gravitação Universal, seleciona a habilidade 20 da competência de área 6, que versa: “H20 - Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes” (Matriz de referência Enem Ciências da Natureza. p.9).

Nesta, fica evidente o desprestígio limitando a aprendizagem apenas em caracterizar causas ou efeitos de movimentos de corpos celestes tendo como base a mecânica newtoniana e a fundamentação nas leis de Kepler e isso justifica o baixo índice de itens proposto no Enem, segundo o blog Aprova Total (Tabela 4.1.) em levantamento feito nas provas de 2009 a 2021.

Tabela 4.1: Incidência de assunto cobrado no ENEM entre os anos de 2009 e 2021.



Disponível em <https://blog.aprovaatotal.com.br/fisica-no-enem-revise-os-principais-conteudos/>
(acessado em 22/12/2022)

Em uma análise de 585 itens, envolvendo as aplicações, reaplicações e provas canceladas, tem-se apenas 12 itens que tratam de Gravitação e que, conforme exige a habilidade 20, pouquíssimo exige da criticidade ou protagonismo do aluno. No entanto, a proposta do Novo Enem baseado na BNCC, traz consigo uma habilidade diferente para o mesmo objeto de estudo. “(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais” (BNCC, 2018).

O nível cognitivo para resolução de itens que contemplem esta habilidade é maior, pois, apesar de haver teorias bastante sólidas acerca do movimento dos corpos, a construção da estrutura cognitiva necessária para contemplar tal habilidade será mais eficaz se o professor usar uma metodologia ativa.

Existem diversas abordagens para o ensino neste trabalho, apresento uma unidade de ensino potencialmente significativa que se baseia no uso e de duas tecnologias disruptivas: Realidade

4.1. A REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA

Não há como tratarmos de Realidade Aumentada (RA/AR) sem mencionar a Realidade Virtual (RV/VR) como podemos verificar nesta afirmação (Tori *et al.*, 2006) “A Realidade Aumentada surge da evolução da Realidade Virtual (RV)”

De acordo com o filósofo e sociólogo Pierre Levy (Levy, 2003): “Virtual se refere a ambientes ou elementos que são sintetizados por meio de dispositivos digitais e que podem ser replicados de forma imaterial”.

No entanto, mesmo havendo os arquivos digitais, a interação com o usuário só é possível se houver um dispositivo ou periférico que permita tal, como por exemplo o caso de um objeto qualquer como uma xícara de café. Podemos reproduzir um modelo digital por meio de algum software capaz, mesmo assim, será apenas um arquivo virtual ou objeto imaterial.

A realidade Virtual se refere a ambientes ou elementos que o indivíduo / usuário / aluno considere como sendo pertencentes à sua realidade e no caso do exemplo do arquivo digital da xícara de café, podemos, através de uma impressora 3D, transformar o arquivo de uma xícara virtual em uma real e útil para a função a que se destina interagindo com o indivíduo / usuário / aluno. Mas aqui, teremos ambientes difíceis de ser materializados como o caso da xícara. Tratamos de ambientes interplanetários ou até interestelares que provoquem sensações como se fossem reais. Para isto, precisamos entender o funcionamento do sistema límbico humano.

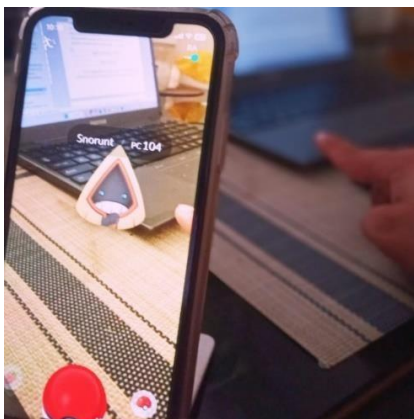
4.3. TECNOLOGIA DA REALIDADE AUMENTADA

Para não me alongar desnecessariamente nesta narrativa, trago nesta seção o sistema utilizado no produto educacional, que é o Sistema de Visão Direta Baseada em Monitor, ou ainda, como conhecido em literatura especializada, “Monitor-Based Augmented Reality”.

No sistema de visão por vídeo baseado em monitor, é necessária uma câmera de vídeo que capta a imagem real. Em seguida, a imagem do tempo real é combinada com objetos ou imagens virtuais, tudo gerado por computador, permitindo a sua visualização em um monitor. Estes objetos virtuais são produzidos através de marcadores fiduciais, que permitem acrescentar a virtualidade ao ambiente real. Este sistema se tornou bastante popular através de jogos eletrônicos desenvolvidos para smartphones, dentre eles, certamente o de maior sucesso em alcance mundial foi Pokémon Go

(Figura.4.1.), desenvolvido pela Niantic Labs e lançado em 2016. Utilizando segmentação semântica e oclusão para entender os elementos ambientais em um local usando tecnologia de visão computacional baseada em inteligência artificial para distinguir objetos do mundo real em tempo real.

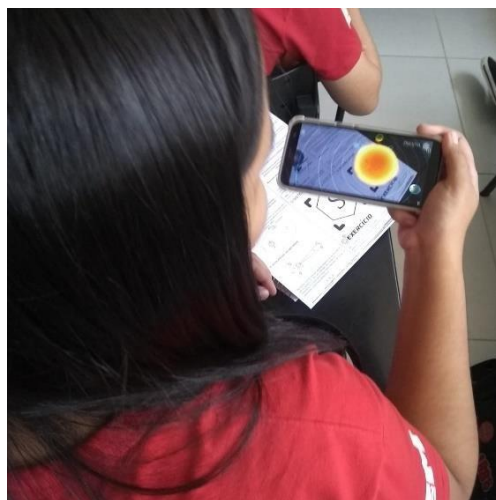
Figura 4.1.: Pokémon Go – Niantic Labs.



Fonte: do próprio autor

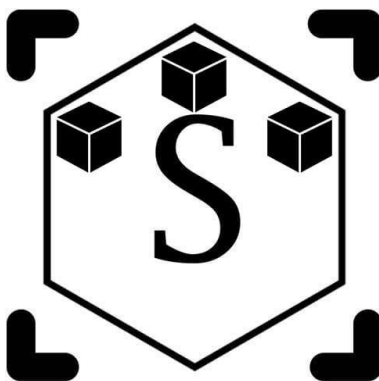
Em 2018 a Volforia desenvolve um aplicativo chamado AR Solar System (Figura. 4.2.) para sistema operacional Android 4.4 em diante, que utiliza uma tecnologia similar, no entanto, usando um marcador Fiducial (fig. 4.3.) para trazer ao ambiente real visualizado por câmera, um elemento digital (realidade aumentada) simulando computacionalmente um modelo atualizado de sistema solar com os planetas e outros objetos massivos, em orbita conforme as leis de Kepler (exploradas no capítulo 4 desta dissertação).

Figura 4.2.: AR Solar System sendo utilizado por uma turma de 1ª série do Ensino Médio.



Fonte: do próprio autor

Figura 4.3.: Alvo marcador impresso no final da apostila de Gravitação Universal utilizada pelo autor.



Fonte: do próprio autor

“Um marcador fiducial (Figura. 4.3.) funciona como um código de barras, mas, além de dar informação, permite dar uma localização. Estes marcadores dão informações do ambiente real, como a localização e orientação” (Reis et al., 2009).

5. APRESENTAÇÃO DETALHADA DO PRODUTO

O Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) é um programa que possui enorme contribuição para o ensino, confecção e produção de produtos educacionais. Este capítulo irá descrever a base teórica que fundamentará toda aplicação da proposta deste trabalho.

Este produto educacional, propõe uma UEPs para a aprendizagem das Leis de Kepler dentro do capítulo de Gravitação Universal, ensinado como de costume em uma sequência didática, ao final da 1ª série do Ensino Médio e na revisão pré ENEM, na 3ª série. Para isto, apresento uma proposta de uso das tecnologias disruptiva de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) de baixo custo e fácil manejo para alunos e professores.

Esta proposta ainda está alicerçada na metodologia defendida por Carl Rogers na obra “Liberdade para Ensinar” (Rogers, 1962), que traz em sua essência um olhar humanista e progressista sobre a aprendizagem centrada no indivíduo (educando e educador) e a competência geral nº 5 da BNCC que propõe a cultura digital e o uso da TDCIs como facilitadores para o desenvolvimento de habilidades e algumas associadas a determinados objetos de conhecimento.

Embora a BNCC e o portal da base não apresentem propostas para o uso das tecnologias disruptivas em sala de aula, baseado nos pressupostos teóricos e na revisão da literatura desta dissertação, segue este produto educacional.

5.1. FICHA SÍNTESE

TÓPICO	Leis de Kepler com o foco centrado na H 20 da Matriz de Referência do ENEM 2009 e na EM13CNT204 da Base Nacional Curricular Comum.
PÚBLICO ALVO	Alunos de 1ª Série e 3ª do Ensino Médio.
ABORDAGEM	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)
AValiação	A construção de uma explicação lógica sobre o movimento dos corpos celestes, baseado na observação de modelo heliocêntrico em simulação computacional.
ATIVIDADE	A proposta compara o desenvolvimento da habilidade 20 da antiga matriz de Referência do ENEM (2009) e o desempenho brasileiro disponível nos microdados oferecidos pelo MEC, com as proposições elaboradas pelos próprios alunos visando o desenvolvimento da EM13CNT204 e checagem de aprendizagem significativa.

Esta unidade de ensino deve ser oferecida ao aluno obedecendo alguns critérios que serão fundamentais para o sucesso da aplicação do produto:

FASE 1: BRAINSTORM

Existem duas observações importantes para este primeiro momento. A primeira trata do objetivo, que dentro de uma proposta de UEPS (Moreira, 2011), o professor deve coletar seus conhecimentos prévios acerca da temática: movimento dos corpos celestes. Contudo, em um processo de aprendizagem centrada no indivíduo, deve-se considerar o que o aluno traz de influência familiar, pois é bem provável encontrar traços de negacionismo ou ainda um profundo fundamentalismo religioso. A pergunta chave para este momento é: **“Alguém sabe o que tem no Céu?”**

O professor deve apenas ouvir, sem emitir nenhum posicionamento acerca do que irá coletar e neste momento, não há como prever o que irá acontecer dependendo de onde o mesmo aplicar, mas, sempre o professor deve entender que na proposta Rogeriana, ele é apenas um facilitador para que se alcance o objetivo e este, conforme supracitado é motivar o aluno a um nível de compreensão tal que este consiga pensar em um modelo que justifique o movimento dos corpos celestes.

É importante ainda lembrar os 3 pilares fundamentais para o facilitador em uma condução Rogeriana a uma aprendizagem que tenha sentido tangível para o aluno: empatia, consideração positiva incondicional e congruência. Em outras palavras, o professor nunca deve confrontar a

crença do aluno, mas conduzi-lo ao abandono dos conceitos equivocados e lapidação daqueles que já estão em um caminho certo. Também não deve permitir confrontos ideológicos entre alunos e alunos, conduzindo o debate, que certamente será acalorado, de forma harmônica e não excedendo um tempo de 10 minutos. Ainda neste momento, pode ser oferecida uma indicação de filme: “Não Olhe Para Cima”, disponível em streamings de vídeo.

No término desta fase, recomenda-se a aplicação de um 1º questionário para a posterior análise acerca dos conhecimentos prévios e a aprendizagem após a aplicação do produto.

Segue o modelo de questionário utilizado pelo pesquisador:

- | | | | |
|-----------|--|---------|---------|
| 01 | Você já observou um planeta no céu noturno? | Sim () | Não () |
| 02 | Que instrumento usou? Luneta () Telescópio () Olho nu () Nunca vi () | | |
| 03 | Você já teve a oportunidade de visitou um planetário? | Sim () | Não () |
| 04 | O que você sabe a cerca de corpos celestes? | | |
| 05 | Quais corpos celestes você conhece? | | |
| 06 | O que é necessário para um corpo celeste ser considerado planeta? | | |
| 07 | Planetas se movem? | Sim () | Não () |
| 08 | O que faz os planetas se mover? | | |
| 09 | Como os planeta se movem? | | |
| 10 | Você conhece alguma teoria que explique formação do Sistema Solar? | Sim () | Não () |

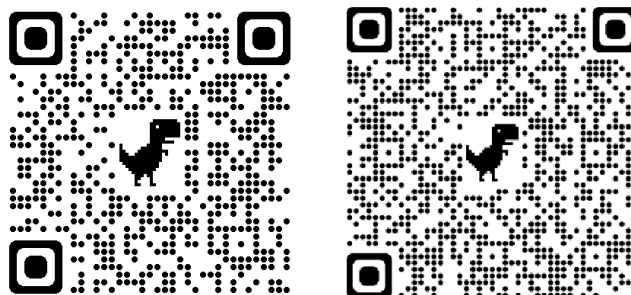
FASE 2: EXPERIÊNCIA IMERSIVA

Conforme supracitado, a sugestão, após a aplicação deste produto educacional desenvolvido é desejável que exista um hiato de alguns dias entre a 3ª e a 4ª fase.

Nesta fase, o professor deverá providenciar para a sua aula os seguintes instrumentos:

- Material impresso contendo os 2 QR Codes e o marcador fiducial a seguir e que podem ainda ser distribuídos um para cada aluno, ou uma única impressão para a sala toda. Quem decide é o regente, mas é importante que cada aluno tenha o seu.

Figura 5.1.: QR codes para fazer download na loja de aplicativos Android



Fonte: <https://play.google.com> acesso em 30/12/2022

O QR code da Figura 5.1. direciona a loja de aplicativos do sistema operacional Android, que foi escolhido para estar presente neste produto, por dois motivos simples. Por se tratar de, estatisticamente, ter uma maior frequência de usuários nessa faixa etária e oferecer em sua loja aplicações de código aberto (gratuita).

Os aplicativos que serão instalados no smartphone dos alunos se chamam AR Solar System e Solar System RA, seguindo sequência proposta nas Figuras 5.2 e 5.3.

Figura 5.2.: Sequência para instalação do aplicativo AR Solar System



1. Abrir o buscador Google e tocar no ícone com o formato de câmera.

2. Abrir o Google Lens que faz a busca de links a partir de QR Codes.

3. Aponte o celular e centralize o código.

4. A loja de aplicativos oferecerá na tela o AR Solar System que deverá ser instalado

Fonte: capturas de tela do próprio autor.

Figura 5.3.: Passo a passo para instalação do aplicativo Solar System RA



Fonte: capturas de tela do próprio autor.

O próximo passo é direcionar o aluno ao uso do aplicativo e o aluno, após iniciar o uso, deve selecionar a opção **Solar System RA** conforme a Figura 5.4. e selecionar a linguagem.

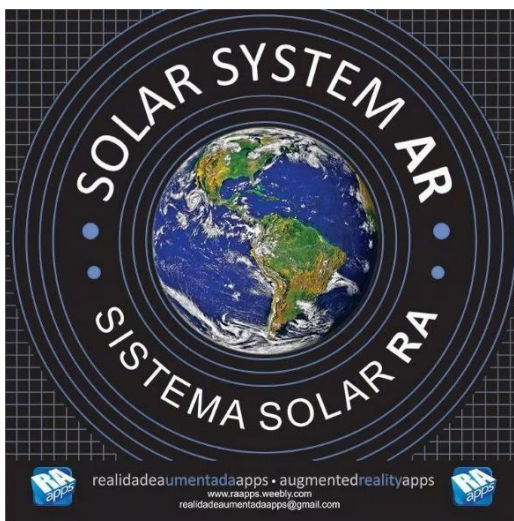
Figura 5.4.: Tela inicial do aplicativo para a visualização em realidade aumentada.



Fonte: Aplicativo Solar System RA

O aluno deverá mirar a câmera de seu celular no marcador fiducial da Figura 5.5 para que o elemento virtual apareça na tela de seu smartphone.

Figura 5.5.: Marcador Fiducial que o aplicativo oferece para chamar o modelo computacional.



Fonte: Aplicativo AR Solar System

Neste primeiro momento de observação, o professor deve deixar o aluno a vontade para interagir. Enquanto isso deverá preparar o segundo momento, mas este, necessitará de um pequeno investimento por parte daquele que aplica o projeto.

Para isso, o professor precisa de um VR Box que poderá ser como o apresentado na Figura 5.6., que é produzido artesanalmente por empresa local, ou do tipo como mostradona Figura 5.7., adquirido em lojas virtuais especializadas.

Figura 5.6.: VR Box artesanal de baixo custo.



Fonte: do próprio autor

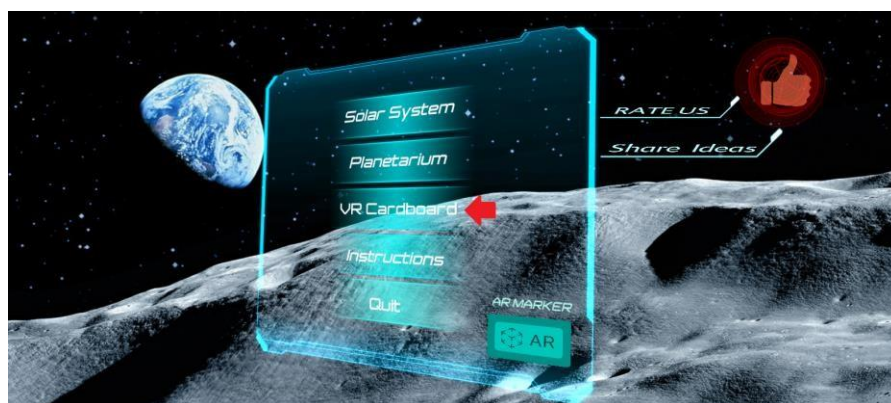
Figura 5.7.: VR Box industrializado adquirido em loja virtual especializada.



Fonte: do próprio autor

Para explorar o CardBoard, o professor deve usar o App AR Solar System e iniciar a simulação conforme a Figura 5.8. e escolher a opção VR CARDBOARD.

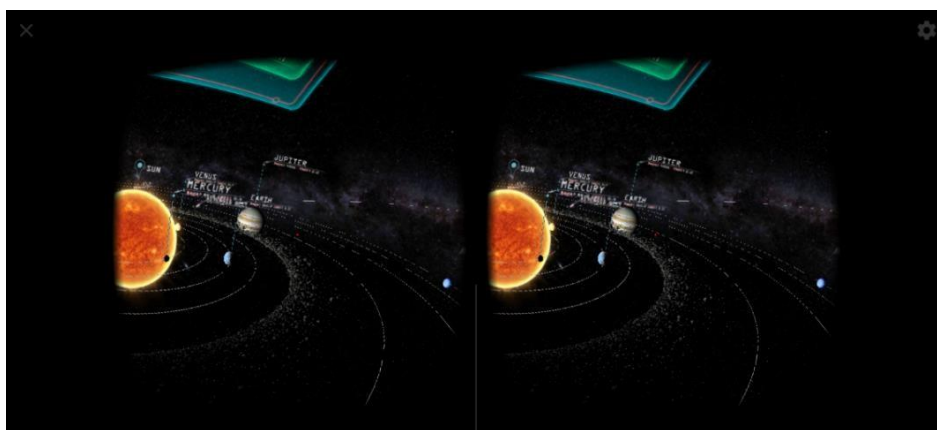
Figura 5.8.: Tela inicial do aplicativo para a visualização em realidade virtual.



Fonte: do próprio autor

Iniciado o App e formado o Par Estéreo (Figura 5.9.), o professor deve encaixar o smartphone no espaço destinado a isto, dentro do Vr Box e posicionar na face do aluno para que este possa imergir em sua experiência límbica de visualização planetária (Figura 5.10).

Figura 5.9.: Imagem de par Estéreo App do AR Solar System



Fonte: do próprio autor

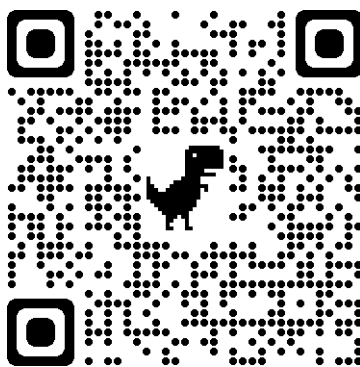
Figura 5.10.: Aluno (a) utilizando o CardBord



Fonte: do próprio autor

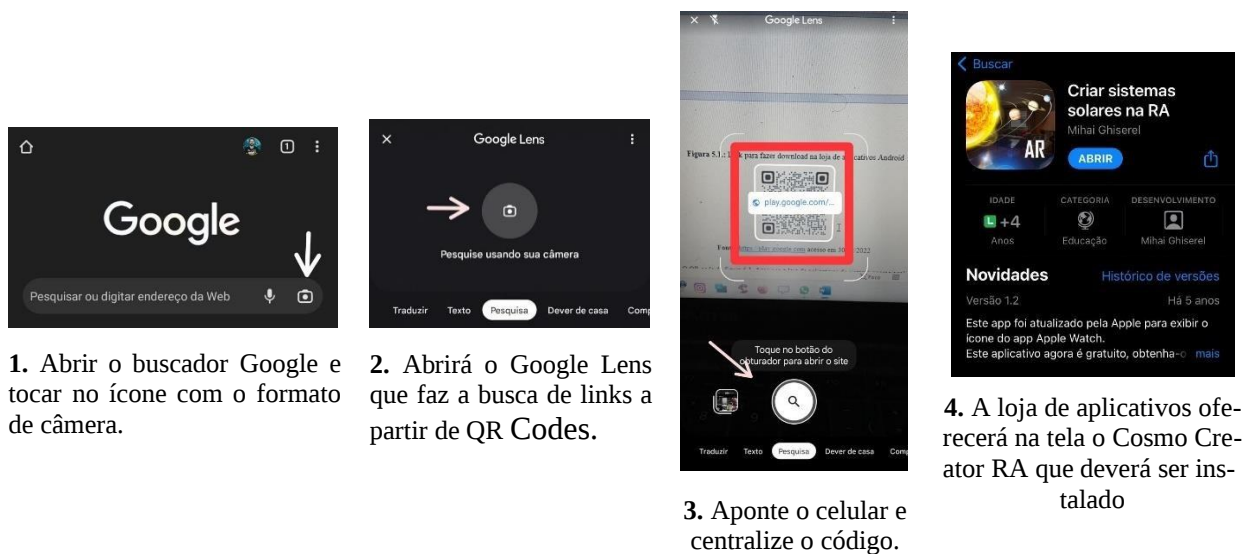
O professor deve deixar que os alunos explorassem bem estes ambientes e enquanto isso prepara os alunos e seu segundo Smartphone que deverá ser imprerterivelmente da marca Iphone e direcionar a câmera para o QR Code da Figura 5.11. que direciona a loja de aplicativos da Apple para fazer a instalação do app Cosmo Creator RA (Figura. 5.12.).

Figura 5.11.: QR code para fazer download na loja de aplicativos Apple



Fonte: [https:// apps.apple.com](https://apps.apple.com) acesso em 27/04/2023

Figura 5.12.: Sequência para instalação do aplicativo Solar System RA



Fonte: capturas de tela do próprio autor.

Este terceiro app (Fig. 5.13.) trata-se de um jogo, onde o aluno deve construir um sistema celeste em equilíbrio, no entanto, este ressalta melhor a Leis de Kepler e Gravitação Universal. Deixe o aluno jogar por um tempo para posteriormente coletar os novos saberes.

Figura 5.13.: Construindo um sistema planetário em equilíbrio com o Cosmo Creator RA



Fonte: do próprio autor

Ao findar o tempo determinado para a aplicação, o professor deverá aplicar novamente o questionário supracitado para verificar a progressão das respostas.

FASE 4: O RESGATE HISTÓRICO

Nesta hora o facilitador fala, trazendo a luz a história do desenvolvimento da astronomia, desde as primeiras observações babilônicas, até a idade média.

O enredo desta narrativa que poderá ou não ter o auxílio de imagens projetadas, deve salientar a necessidade de observar mais de perto o que está ocorrendo ou pelos olhos de outro referencial. Desta forma, ainda sem ferir as crenças pessoais, o professor levará o aluno a entender que, não é que ele esteja errado, mas, não teve ainda a oportunidade de observar, por exemplo, um planeta como Júpiter que é de fácil identificação em conjunções mesmo a olho nu.

Neste momento, é fundamental trazer questionamentos históricos acerca do tema, como as crenças de Giordano Bruno acerca do tamanho do universo e a distâncias das estrelas e principalmente, sobre o movimento dos astros: O que vêem e como acham que é.

O tempo necessário para essa etapa é estimado em torno de uns de 10 a 20 min., dependendo do debate anterior e contando com o manejo de classe. Decorrido esse tempo encerra-se a aula. A função primordial do professor é despertar o interesse do aluno pelo assunto que está em pauta. Nada de cálculos ainda, mas uma fala centrada e que inspire autoridade sobre o assunto e isso diz muito respeito a identidade do professor e como o mercado/cliente enxerga este indivíduo (lembrando que a proposta Rogeriana compara claramente o aluno a cliente em uma abordagem clínica).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional aplicado mostrou-se eficiente, baseando-se em um modelo híbrido de aprendizagem significativa em que, para Rogers o aluno precisa querer aprender e estimulado pela mediação, como propõe Vygotsky, houve de fato a construção de novo saberes por meio do uso das simulações em RA e RV, constatada na mudança de pensamento acerca de um assunto onde, inicialmente, os alunos demonstram alto desconhecimento para posteriores argumentações.

Vale ressaltar que o objetivo deste trabalho foi alcançado, o que se confirmou durante a aplicação do produto. Observou-se um maior interesse dos alunos pelo assunto de forma que alguns decidiram complementar ou adquirir mais conhecimentos por meio de documentários que foram sugeridos para esse fim. Houve ainda por parte de alguns alunos o interesse em participar das Olimpíadas Brasileiras de Astronomia o que demonstra um maior interesse do aluno em se aprofundar nos conhecimentos adquiridos em sala de aula.

O pesquisador ao aplicar este, percebeu ainda que em anos anteriores a aplicação deste produto, não havia elo entre o capítulo de gravitação do livro e os demais conteúdos (o mesmo acontece com outros), sendo este, “mais um que cai na prova”, mas sem levar a uma interpretação crítica ou mesmo sem importância histórica.

Houve ainda um número maior de alunos que refletiu sobre o lançamento de foguetes e o melhor local para este, visto que compreenderam o que é gravidade em uma proposta Newtoniana para a Mecânica.

É importante salientar que este produto pode ser aplicado em outros assuntos da Física e até mesmo em outras disciplinas de acordo com a série que queria ser trabalhada, bem como o seguimento estudantil. Basta apenas uma pesquisa prévia para obter os aplicativos que sirvam de mediadores eficazes dentro da proposta pedagógica para o ensino de um determinado saber. O *modus operandi* é o mesmo e ainda pode e será aprimorado a fim de potencializar o poder de síntese do aluno para que este proponha modelos de explicação de fenômenos, com pilares científicos e ainda, que deles se extraia propostas de intervenção para problemas tecnológicos ou ambientais.

Este produto trouxe ao público-alvo, uma satisfação em aprender e um estímulo à busca de novos saberes para além da sala, das equações expostas e até mesmo da proposta do ensino médio para o assunto, visto que há programas como o das Olimpíadas Brasileira de Astronomia, com maior abrangência e aplicação dos conteúdos abordados, além da reflexão da vastidão do universo e que não são leis que se aplicam apenas a nosso sistema planetário, mas tem validade universal.

REFERÊNCIAS

BASSALO, J. M. F. A crônica da gravitação. parte 1: das primeiras civilizações à grécia antiga. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v.7, p. 70-81, 1990.

COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes**. 3ª ed. Tradução: A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; KRANE, K S. **Fundamentos de Física**. 9ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014. v. 2

IME. (28 de 12 de 2022). Fonte: IME:
<http://www.ime.unicamp.br/~sandra/CCA/history/eudoxo/eudoxo.html>

MOREIRA, M. A. **Subsidios Teoricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências - Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022

MOREIRA, M. A. abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**. Niterói, v.4, n. 1, p.2-17, 2011. Disponível em:
<https://periodicos.uff.br/ensinosaudeambiente/article/view/21094>. Acesso em: 20 dez. 2022

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos**. São Paulo. 2011. Fonte: https://lfeditorial.com.br/wp-content/uploads/2022/04/9788578611118_Aprendizagem-Significativa.pdf Acesso em: 20 dez. 2022

NEWTON, Isaac. **Principios Matemáticos da Filosofia Natural**. São Paulo: Folha de S. Paulo, 2010

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/tri/sead/publicacoes/documentos/livro-teorias-de-aprendizagem>. Acesso em: 20 dez. 2022

PIAGET, Jean. **O raciocínio na criança**. Rio de Janeiro: Record, 1967.

ROGERS, Carl R. **Liberdade para Aprender**. 2ª ed. Belo Horizonte: Interlivros de Mins Gerais. 1972.

SANTOS, Letícia Rodrigues; ANDRADE, Elisangela Ladeira de Moura; FERNANDES, Juliana Cristina da Costa; LIMA, Emmanuela. As contribuições da Teoria da Aprendizagem de Lev Vygotsky para o desenvolvimento da competência em informação. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 17, pp. 1-15, 2021. Disponível em: <https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/1489/1334>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira Saraiva; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; MULLER, Alexei Machado. **Newton e as generalizações das Leis de Kepler - Gravitação**. p. 1-19, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula7-132.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SCHERRER, Walter. Indústria 4.0 como uma 'mudança repentina': a relevância de longas ondas de desenvolvimento econômico para o nível regional. **European Planning Studies**, [s. l.], v.29, n. 9, p. 1723-1737, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/09654313.2021.1963054?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SCHUELKE-LEECH, Beth-Anne. A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 129, n. 4, pp. 261-274, abr. 2018.

SILVA, Thais. Gama da. **Protagonismo na adolescência: a escola como espaço e lugar de desenvolvimento humano**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Centro de Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: http://ppge.ufpr.br/teses/M09_gamasilva.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

SIQUEIRA, Sarah David. **A neurobiologia das emoções e sua integração com a cognição em crianças no ambiente escolar**. Belo Horizonte: UFMG, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ICBB-BD4UPT/1/monografia_sarahdavid_final.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

SLATER, M. WILBUR, S. **A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments**. 1997

SOUSA, I. S. Estreitando caminhos para a aprendizagem: Carl Rogers e a teoria da aprendizagem centrada no aluno. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v. 7, n. 11, p. 1904-1915, nov. 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3714/1444>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUSA, L. C. N. **Uma proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre gravitação universal para o Ensino Médio**. 2019. 129f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28327>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. Unidades de ensino potencialmente significativas. **Revista Dynamis**, Blumenau, v.25, n.1, p. 113-128, 2019. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/7627/4182>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUZA, M. V. L.; LOPES, E. S.; SILVA, L. L. Aprendizagem significativa na relação professor-aluno. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v.13, n. 2, p. 407-420, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/3926/Aprendizagem%20Significativa%20na%20>

Rela%C3%A7%C3%A3o%20Professor-Aluno. Acesso em: 26 dez. 2022.

TORI, R; HOUNSELL, M. S; KIRNER, C. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. 3. ed. Porto Alegre: Editora SBC, 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Ciências Biomédicas. Sistemas sensoriais: Generalidades. 2017. Disponível em: <http://fisio2.icb.usp.br:4882/wp-content/uploads/2017/02/TO2017Aula3.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - **IME**. **Biografia dos matemáticos**. Campinas. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~sandra/CCA/history/eudoxo/eudoxo.html>. Acesso em: 28 dez. 2022.

UTTERBACK, J. M; ACEE, Feliz J. Disruptive technologies: an expanded view. p. 1-17. **Jornal Internacional de Gestão da Inovação**, v. 9, n. 01, p. 1-17, 2005. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9781786347602_0001. Acesso em: 26 dez. 2022.

VILELA, José Sérgio; GOUVEIA Pedro; GOMES, Ricardo. **Fotografia 360°**. Lisboa. Disponível em: <https://fotograf360.weebly.com/360ordm-vs-3d.html>. Acesso em: 26 dez. 2022.

VERGNAUD, G. **Teoria dos campos conceituais**. In Nasser, L. (Ed.) **Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro**. p. 1-26. 1993.

VOLTAIRE. **Elementos da filosofia de Newton**. São Paulo: Unicamp, 2015.

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente**. 2ª ed. brasileira. São Paulo: Martins Fontes, 1988.