GYULIANA PINHEIRO RIBEIRO
FÁBIO HENRIQUE SILVA SALES
KARLA CRISTINA SILVA SOUSA

A teoria dos campos conceituais para o ensino de física

EDUFMA

Gyuliana Pinheiro Ribeiro
Fábio Henrique Silva Sales
Karla Cristina Silva Sousa

A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA

São Luís

EDUFMA

2021

Copyright © 2021 by EDUFMA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Natalino Salgado Filho
Reitor
Prof. Dr. Marcos Fábio Belo Matos
Vice-Reitor

EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira
Diretor

CONSELHO EDITORIAL
Prof. Dr. Luís Henrique Serra
Prof. Dr. Elídio Armando Exposto Guarçoni
Prof. Dr. André da Silva Freires
Prof. Dr. Jadir Machado Lessa
Profª. Dra. Diana Rocha da Silva
Profª. Dra. Gisélia Brito dos Santos
Prof. Dr. Marcus Túlio Borowiski Lavarda
Prof. Dr. Marcos Nicolau Santos da Silva
Prof. Dr. Márcio James Soares Guimarães
Profª. Dra. Rosane Cláudia Rodrigues
Prof. Dr. João Batista Garcia
Prof. Dr. Flávio Luiz de Castro Freitas
Bibliotecária Suênia Oliveira Mendes
Prof. Dr. José Ribamar Ferreira Junior
Revisão
Profª. M.s. Márcia Costa Cordeiro
Projeto Gráfico
Profª. Dra. Karla Cristina Silva Sousa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ribeiro, Gyuliana Pinheiro

A teoria dos campos conceituais para o ensino de Física [recurso eletrônico] / Gyuliana Pinheiro Ribeiro, Fábio Henrique Silva Sales, Karla Cristina Silva Sousa. — São Luís: EDUFMA, 2021.

134 p.: il.
Modo de acesso: www.gegfopeb.com.br
ISBN 978-65-89823-72-8

1. Física – ensino. 2. Campos conceituais. 3. Leis de Kepler. I. Sales, Fábio Henrique Silva. II. Sousa, Karla Cristina Silva. III. Título.

CDD 530
CDU 53:373.5

Ficha catalográfica elaborada pela Diretoria Integrada de Biblioteca –DIB/UFMA
Bibliotecária: Regina França Cutrim/ CRB 13-542EDUFMA | Editora da UFMA

Av. dos Portugueses, 1966 – Vila Bacanga
CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil
Telefone: (98) 3272-8157
www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 O ESTUDO DAS LEIS DE KEPLER 17

2.1 AS LEIS DE KEPLER NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA 17

2.2 ANTES DE KEPLER – CONTEXTO HISTÓRICO 18

2.2.1 O Modelo Geocêntrico - de Aristóteles a Ptolomeu 19

2.2.2 Modelo Heliocêntrico de Copérnico 23

2.2.3 Modelo de Tycho Brahe 26

2.3 AS LEIS DE KEPLER 28

2.4 A PRIMEIRA LEI DE KEPLER 30

2.4.1 Propriedades de uma elipse 32

2.5 A SEGUNDA LEI DE KEPLER 35

2.6 A TERCEIRA LEI DE KEPLER 37

3 VERGNAUD E A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA 40

4 A IMPORTÂNCIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA 46

4.1 EXPLICANDO OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA 50

4.2 CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI) 51

4.2.1 A Taxonomia SOLO como método de análise da SEI 52

4.2.2 Etapas e objetivos dos momentos pedagógicos 54

4.3 PRIMEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO 56

4.4 SEGUNDO MOMENTO PEDAGÓGICO 64

4.4.1 Procedimentos e análises dos resultados das aulas aplicadas 64

4.4.2 Maquete das Leis de Kepler 79

4.5 TERCEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO 82

4.5.1 Aplicação e análise dos resultados dos mapas conceituais 82

4.6 QUARTO MOMENTO PEDAGÓGICO: OFICINA DE *LAPBOOK* 86

4.6.1 Construção do *Lapbook* 87

4.6.2 Avaliação do *Lapbook* 88

4.7 QUINTO MOMENTO PEDAGÓGICO - AVALIAÇÃO DA SEI 110

4.7.1 Avaliação Formativa (Aspectos Qualitativos) 118

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 130

REFERÊNCIAS 132

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Física é admitida como uma das mais difíceis disciplinas do currículo escolar, e tem sido alvo de constantes indagações ao longo dos últimos tempos, seja para se questionar dada metodologia, seja para verificar se dado conteúdo é ou não pertinente. Uma das questões centrais desse cenário situa-se no âmbito de como os conhecimentos são apresentados aos estudantes e como eles conseguem construir generalizações a partir da consecução das atividades didáticas propostas.

É importante enfatizar que para abordar determinado conhecimento científico, o aluno precisa de diversos meios e situações plausíveis como: atividades diversas, questionamentos e experimentações, que sirvam de suporte para uma aprendizagem mais ampla e concreta, quando o ponto crucial é a compreensão do conceito científico estudado.

> Essas situações de aprendizagem se localizam no centro da relação didática que se estabelece entre o professor – aluno/alunos – saberes a ensinar [...] Se um desses atores for negligenciado ou esquecido, a relação didática não se constitui. É a situação de aprendizagem que irá fazer funcionar a relação didática. (CARVALHO, 2018, p. 41)

Diante do exposto acima, Perrenoud (2000) aponta que o desafio maior do professor é justamente dirigir e organizar essas situações de aprendizagem, que dentro do seu ponto de vista, devem ser significativas, problematizadoras e contextualizadas. Dentro dessa perspectiva, o trabalho aqui proposto partiu da necessidade de buscar métodos e estratégias para o ensino de um conteúdo físico - As Leis de Kepler, utilizando instrumentos que auxiliam a prática pedagógica na apreensão dos conceitos abordados do tema em questão, realizadas no Ensino de Física no 1° ano do nível médio, reconhecendo ainda de acordo com Carvalho et al. (2018, p.41) que “as representações dos alunos, os obstáculos à aprendizagem, a elaboração de sequências didáticas e os conhecimentos dos conteúdos a ser ensinados”, pois, são tidas pelos autores como atribuições fundamentais.

O objetivo geral dessa proposta é construir uma SEI (Sequência de Ensino Investigativa) baseada em situações divididas em momentos pedagógicos com vivências de 10 (dez) horas - aulas, levadas aos discentes, com distintos níveis de dificuldades em consonância com a teoria psicológica do processo de conceitualização do real, de maneira que rupturas e continuidades entre conhecimentos já adquiridos pelos alunos são previstas e precisam ser reestruturadas pelo (a) professor (a).

Por fim, é através das diversificações de estratégias didáticas de ensino e das situações de aprendizagens, que o aluno (a) poderá compreender a importância da aquisição do sistema planetário atual, para uma compreensão mais global do conteúdo inicial da Gravitação que são as Leis de Kepler.

Mas por que estudar as Leis de Kepler?

A resposta mais coerente para esta indagação está no fato de que tal conteúdo é complexo de ser abordado com os recursos oferecidos pelas escolas públicas (que é o foco deste trabalho), sendo estes na sua grande maioria apenas quadro, pincel e livro didático, ou seja, é um método tradicional de aprendizagem, a partir disso, tais leis são apenas mencionadas se tornando algo abstrato e incompreensível para os discentes. Outro ponto importante a ser destacado é de que o conhecimento sobre os movimentos do sistema planetário, cometas, naves e satélites está previsto no tema 6 do PCN+ (2002, 1999) e nas Orientações Curriculares do Ensino Médio (2018), e são um dos tópicos responsáveis pela origem da Física Clássica e da Astronomia. Assim, a abordagem de tal conceito deve estar presente na prática pedagógica do professor durante seu planejamento de atividade docente. Deste modo, acreditamos que simplesmente enunciar as leis aos alunos não tem a mesma capacidade de propiciar uma aprendizagem significativa.

Portanto, neste sentido, pretendemos com este trabalho contribuir com essas problemáticas promovendo aulas de Física com relação ao tema proposto, para além das fórmulas, que resultam em uma aprendizagem mecânica, e isso implica em elevar a compreensão dos fenômenos por parte dos discentes, a partir da construção de seus próprios conceitos, que são moldados de situações que segundo Vergnaud (1990), procura relacionar o crescimento do sujeito com as tarefas que ele é levado a resolver, tendo como cerne a conceitualização, um processo longo e que requer uma diversidade de situações.

Idealizando uma aprendizagem mais completa qualitativamente, é que a proposta metodológica deste projeto partiu da construção de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), sendo uma proposta pedagógica que visa o desenvolvimento de atividades planejadas e organizadas, com o referencial teórico abordado nas Teorias dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud (1990; 1993), que segundo Moreira (2002) tem sido empregada na aprendizagem dos conceitos físicos, mostrando eficiência no processo, na identificação de dificuldades nos referidos conceitos e na seleção de situações instrucionais que possam auxiliar na superação e evolução desses aprendizados.

É através desse enfoque teórico e metodológico que este trabalho foi desenvolvido no C. E. Professor Barjonas Lobão, da cidade de São Luís – MA, com 30 (trinta) alunos (18 (dezoito) homens e 12 (doze) mulheres) do primeiro ano do ensino médio, com faixa etária de 15 (quinze) a 16 (dezesseis) anos, e contou com a colaboração do professor regente da turma que disponibilizou sua sala de aula para que esta pesquisa fosse realizada.

Quanto ao desenvolvimento da Sequência de Ensino Investigativa (SEI), baseamo-nos nas contribuições de Carvalho (1998) e Nascimento (2016) como instrumentos norteadores para a construção da nossa proposta pedagógica. Para a abordagem da TCC, foram analisadas as tarefas, às situações que de acordo com Vergnaud (1982) é que dão sentido aos conceitos, além disso, para cada campo conceitual deve ser atribuída uma classe de situações, visto que somente uma não seria suficiente para conferir significados ao campo conceitual. Diante dessa perspectiva, houve momentos (situações de ensino aprendizagem) relacionados ao campo conceitual das Leis de Kepler, previstos de (1) atividades sobre as leis estudadas, (2) demonstração de maquetes, (3) mapas conceituais e (4) construção de *Lapbooks* (são pastas ou fichários com desenhos, recortes, etc.). Por fim, para a avaliação da SEI, utilizou-se a Taxonomia SOLO, além dos 2 (dois) questionários: o primeiro, fechado com questões de múltipla escolha aplicado no início – para uma avaliação diagnóstica; o segundo, com questões de perguntas abertas aplicado no final – para avaliar o nível de conceitos apresentados pelos discentes após as situações apresentadas.

É a partir dessa perspectiva que esta pesquisa foi estruturada da seguinte maneira: A introdução faz uma análise crítica do trabalho abordado; o segundo capítulo descreve inicialmente uma visão das Leis de Kepler no contexto da educação básica e após faz uma descrição dos seus conceitos científicos. O terceiro capítulo, aborda a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud no ensino de Física como o referencial pedagógico do trabalho. No quarto capítulo foi descrita uma abordagem dos Campos Conceituais e também apresentamos todos os detalhes metodológicos e análise de resultados da SEI aplicada junto aos alunos. Em seguida, apresentamos os Momentos Pedagógicos da sequência didática e juntamente os resultados da aplicação desta proposta didática.

Contudo, espera-se que este trabalho contribua como mais um referencial teórico e metodológico para os profissionais da área da educação e Ensino de Física, especialmente aos professores desta disciplina do Ensino Médio de escolas públicas, possibilitando condições de refletir sobre suas aulas e, principalmente, sobre a aprendizagem de seus alunos, objetivando que ele ajude a desenvolver competências e habilidades científicas norteadoras através de

vivências reais para que os mesmos percebam e vejam o universo ao seu redor tendo condições reais de formular conceitos e hipóteses numa visão crítica e tecnológica.

É importante salientar, que não pretendemos, neste trabalho, expor uma receita pronta e acabada, porque o professor deve ter autonomia para decidir qual a melhor estratégia didática que precisa utilizar para desenvolver a aprendizagem de seus discentes, considerando a realidade social e condições objetivas de cada comunidade escolar.

2 O ESTUDO DAS LEIS DE KEPLER

Neste capítulo, iremos abordar inicialmente a relação das Leis de Kepler no contexto da Educação Básica, com um enfoque na importância de demonstrar o conhecimento dessas leis a partir da análise de conceitos de forma significativa e processual para o ensino e aprendizagem desse campo conceitual, com isso, nos outros tópicos, entendermos esse campo conceitual a partir de uma breve abordagem do estudo, desde a história da Astronomia, que se consolidou na Grécia Antiga por volta de 500 a. C e se estendeu até o período Medieval com a teoria geocêntrica do universo, e anos depois, por volta do final do século XVI, com a proposta de um novo modelo chamado heliocêntrico. Por fim, a partir da teoria heliocêntrica o rumo das ideias astronômicas e da Física mudaram, sobretudo por levar a descoberta das chamadas Leis de Kepler, que será o foco principal deste trabalho.

2.1 As Leis de Kepler no contexto da Educação Básica

O conhecimento sobre os movimentos do sistema planetário, cometas, naves e satélites está previsto no tema 6 do PCN+ (2006) e nas Orientações Curriculares de Física para o Ensino Médio (2018). Dentro desse conteúdo estruturante as Leis de Kepler são a base para o estudo da gravitação que, além de ser um assunto fascinante, é fundamental para que os alunos tenham uma compreensão da dinâmica do Sistema Solar e de uma boa parte do universo observável.

Nesse nível de ensino, de modo geral, as leis de Kepler são simplesmente enunciadas, fazendo com que o papel dos alunos seja apenas de aceitação. Deste modo, acreditamos que simplesmente enunciar as leis aos alunos não tem a mesma capacidade de propiciar uma aprendizagem significativa[1] quando comparada à que se os alunos têm ao descobrir como são as órbitas dos planetas ao redor do Sol por si mesmos, a partir do planejamento didático pedagógico e mediado pelo professor. Ao invés de fornecer as respostas, o docente pode proporcionar a ferramenta necessária para que seus alunos cheguem a conclusões que virão a ser significativas.

[1] A aprendizagem significativa é o principal conceito da teoria de Ausubel, que de acordo com Moreira (2009) “é um processo através do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de "conceito subsunçor" ou, simplesmente "subsunçor", existente na estrutura cognitiva de quem aprende” (*ibid.* p.09).

Assim, a indagação “como ensinar as Leis de Kepler” deve estar presente na prática pedagógica do professor durante seu planejamento de atividade docente. E nesse planejamento é importante que o mesmo se atente a transmissão dos conceitos ensinados, pois no processo de ensino-aprendizagem, devem existir uma estruturação entre a transmissão dos conceitos para surgir de fato a aprendizagem por parte do estudante. Com isso, o tema aqui proposto, foi baseado em uma abordagem psicológica da importância de se trabalhar a aprendizagem conceitual do *saber dizer* (VERGNAUD, 1990; 1998) como uma estruturante da apreensão dos conceitos científicos estudados.

A construção dessa pesquisa teve sua origem como objeto de estudos, os fundamentos das Leis de Kepler, como um campo conceitual que segundo Vergnaud (1990) é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente, entrelaçados durante um processo de aquisição. Nesse sentido, Moreira (2002) afirma que esse conhecimento por parte do aprendiz vai acontecendo ao longo de um extenso período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem. Sendo que o papel do professor como mediador nessa *práxis*[2] é fundamental para o processo.

Nessa perspectiva, os próximos tópicos complementarão a abordagem do Campo Conceitual das Leis de Kepler, analisando os conceitos referentes ao entendimento dos movimentos dos corpos celestes através do contexto histórico, das descrições das leis, equações e representações geométricas que definem tal fenômeno físico abordado.

2.2 Antes de Kepler – Contexto Histórico

O movimento dos corpos celestes, por ser um dos fenômenos da natureza que observamos com maior facilidade foi algo que sempre intrigou o Homem desde os tempos remotos da civilização.

Por muitos anos se chegou a acreditar que a Terra era o centro do Universo, isso era perfeitamente explicado e justificado devido a nossa observação cotidiana que é a de que os astros estão fixos em um movimento esférico, estando em uma rotação uniforme ao redor do nosso planeta.

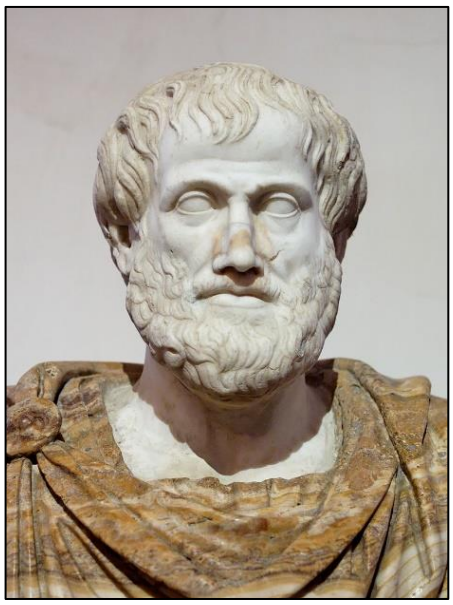
Esta noção, que direcionava muitos homens do ocidente europeu, desde o século II, era mantida por axiomas da Física Clássica apresentada pelo filósofo grego Aristóteles.

[2] Práxis: ação pedagógica refletida que retoma a ação de forma renovada.

2.2.1 O Modelo Geocêntrico - de Aristóteles a Ptolomeu

Segundo Aristóteles (384 – 322 a. C.), os únicos movimentos simples seriam apenas o retilíneo e o circular. Os movimentos retilíneos básicos são aqueles que se aproximam radialmente do centro do universo, ou os que se afastam radialmente do centro do universo.

Figura 1 - Cópia romana do busto de Aristóteles.



Fonte: ARISTÓTELES (2019).

Comparando essas possibilidades teóricas com os movimentos espontâneos observados na natureza, ele pensava que existiam movimentos retilíneos naturais como: o da pedra que cai para baixo, e do fogo que vai para cima. A terra naturalmente pesada, já o fogo naturalmente leve, estando a água e o ar em estados intermediários. Por outro lado, Aristóteles observou que as estrelas bem como os planetas não caem em direção a Terra, e nem se afastam dela, nem tão pouco descrevem movimentos retilíneos. Com isso, ele apontou que os mesmos descreviam um movimento circular, concluindo que eram feitos de outra substância, o éter ("quinto elemento") que segundo Peduzzi "é um elemento puro, inalterável, transparente e sem peso" (2008, p. 23). Ainda segundo o autor, Aristóteles afirma que em nenhum ponto do universo, existe a ausência de matéria (o vácuo). E as esferas associadas aos movimentos dos astros são esferas materiais, constituídas de éter (*ibid.*). Logo, de acordo com Porto e Porto:

> A Terra, domínio da matéria sujeita a toda espécie de mudanças e transformações, opunham-se os corpos celestes, imutáveis, esferas perfeitas, formadas, não como a matéria terrestre, dos quatro elementos mencionados, terra, água, fogo e ar, mas de um outro elemento, incorruptível, denominado éter ou quintessência. (2008, p. 2)

Com isso, o universo aristotélico, seria então constituído de duas partes: a celeste – incorruptível, perfeita e formada de éter, que se estenderia da lua até as estrelas, sendo regido pelo princípio do movimento circular; e o mundo sublunar – corruptível, constituído de terra, água, fogo e ar, regido pelo movimento retilíneo.

Em resumo, como apontado no segundo parágrafo, o cosmo aristotélico tinha a Terra no centro do universo e os planetas ao redor, girando em movimento circular uniforme, encrustado em esferas cristalinas e invisíveis. E a partir da visão filosófica aristotélica surge consequentemente o modelo Geocêntrico, que prevaleceu por muitos anos, mas começou a falhar quando se era questionado o movimento dos planetas com relação as estrelas. Em certas épocas, esses planetas pareciam desacelerar, em outros momentos demonstravam um movimento retrógrado[3], pondo em desacordo o modelo conhecido que não apresentava apenas implicações contra a sua física, mas também, contra todo um conceito filosófico que figurava uma verdade básica.

> Na primeira hipótese sobre o movimento planetário supunha-se que estes planetas descreviam círculos concêntricos em volta da Terra. Esta suposição, no entanto, não descrevia bem o movimento observado dos planetas, em relação a Terra. Em consequência, a descrição geométrica para explicar as observações astronômicas do movimento planetário tornou-se cada vez mais complexa. (ALONSO; FINN, p. 189, 2012).

A mais duradoura teoria geocêntrica da história da ciência respondeu as inquietantes questões sobre a retrogradação dos planetas, sem desconsiderar o que o modelo aristotélico havia proposto.

> Até Aristóteles, os modelos visavam representar os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas alicerçavam-se, basicamente, sobre observações esparsas e irregulares desses astros e não é difícil entender as suas limitações. A geração de novos dados observacionais, conjugada com uma astronomia essencialmente matemática, acabou propiciando condições para a elaboração de um novo sistema astronômico que dominou, até Copérnico (século XV) a descrição do céu. Esse sistema a ser desenvolvido por Apolônio de Perga (230 a. C.), foi aperfeiçoado por Hiparco de Nicéia (130 a. C.), no século seguinte, e estruturado em sua forma final por Claudio Ptolomeu (~100 – 170 d. C.), que viveu na cidade de Alexandria. (PERDUZZI, 2008, p. 24)

[3] De acordo com Peduzzi (2008, p. 19) "o deslocamento para oeste de um planeta é chamado de movimento retrogrado".

Claudio Ptolomeu (**Figura 2**), em sua obra *Almagesto*[4], conhecida como a principal obra astronômica da Antiguidade, quis provar que a retrogradação dos planetas em relação as estrelas era o efeito da superposição de vários movimentos circulares uniformes, chamados de epiciclos. Também através de sua descrição matemática conseguiu detalhar do movimento do Sol e da Lua, e com isso, sendo capaz de prever, precisamente, as datas de futuros eclipses tanto solares quanto lunares.

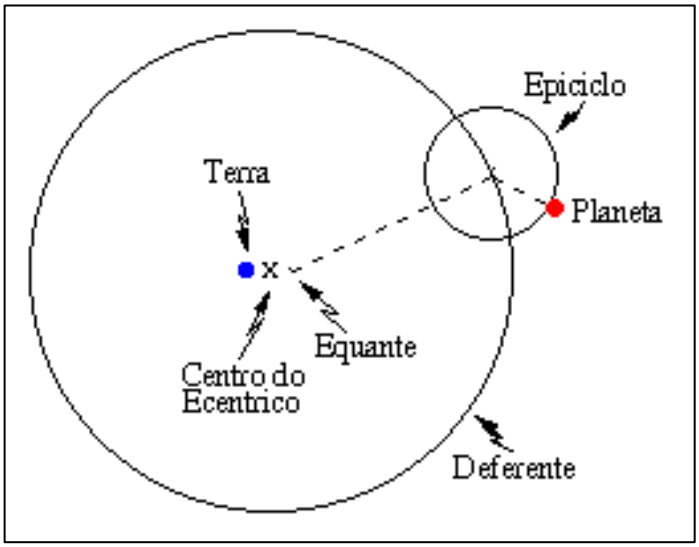
Figura 2 - Claudius Ptolomeu

Fonte: (NOGUEIRA, 2009).

Em sua teoria, Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado epiciclo, como já apresentado anteriormente, cujo centro se move em um círculo maior chamado deferente. A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto o deferente é um círculo excêntrico em relação à Terra). Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o equante, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme (veja na **Figura 3**).

[4] Segundo Ptolomeo, "é um tratado matemático no qual Ptolomeu apresenta uma teoria completa, coerente e com amplo poder preditivo, sobre o movimento da Lua, do Sol e dos planetas." (*ibid*., p.24).

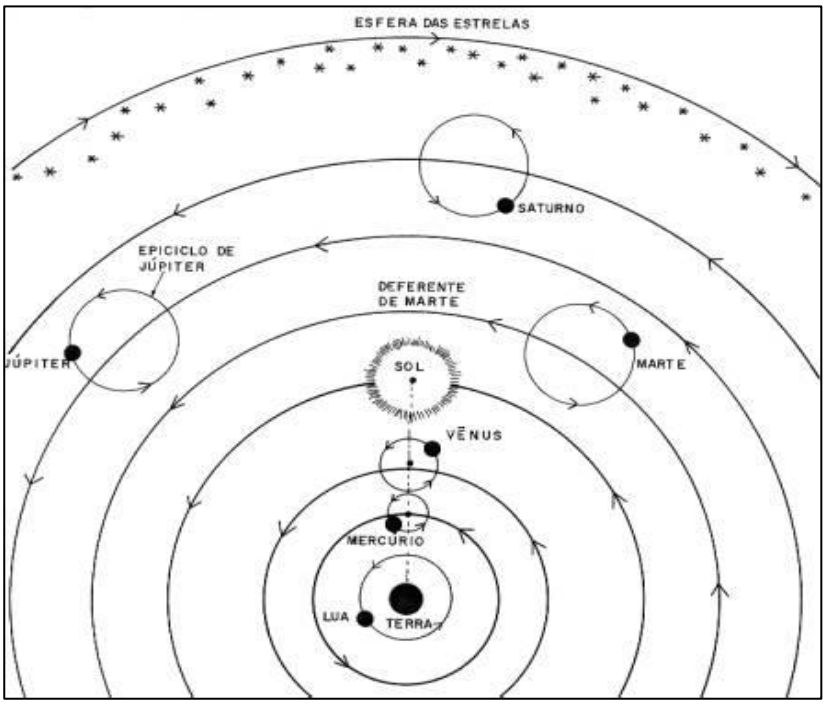
Figura 3 - Diagrama do modelo geocêntrico de Ptolomeu.



Fonte: (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2006).

E abaixo podemos observar uma representação do sistema geocêntrico de Ptolomeu, incluindo os equante e os deferentes nos movimentos dos astros.

Figura 4 - Representação do Sistema Geocêntrico de Ptolomeu.



Fonte: (BONJORNO et. al., 2016).

Com a sua teoria, Ptolomeu conseguiu sustentar substancialmente por 1300 anos o modelo de Aristóteles, visto que o objetivo era produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta, e nesse ponto ele foi razoavelmente bem-sucedido.

2.2.2 Modelo Heliocêntrico de Copérnico

Tempos depois, no século XVI, Nicolau Copérnico (1473-1543) desenvolveu o modelo heliocêntrico, em que todos os planetas giravam em torno do Sol e ocupava o centro do Universo em órbitas circulares.

> Este modelo heliocêntrico, não era novo, já tinha sido proposto pelo astrônomo Aristarco, no século III a. C. [...] O que Copérnico propôs era essencialmente um sistema de referência, com a origem colocada no Sol. No referido sistema, o movimento dos planetas teria uma descrição mais simples. (ALONSO; FINN, p. 189, 2012).

Figura 5 - Retrato de Nicolau Copérnico e exposto em um museu em Torún, em 1585.

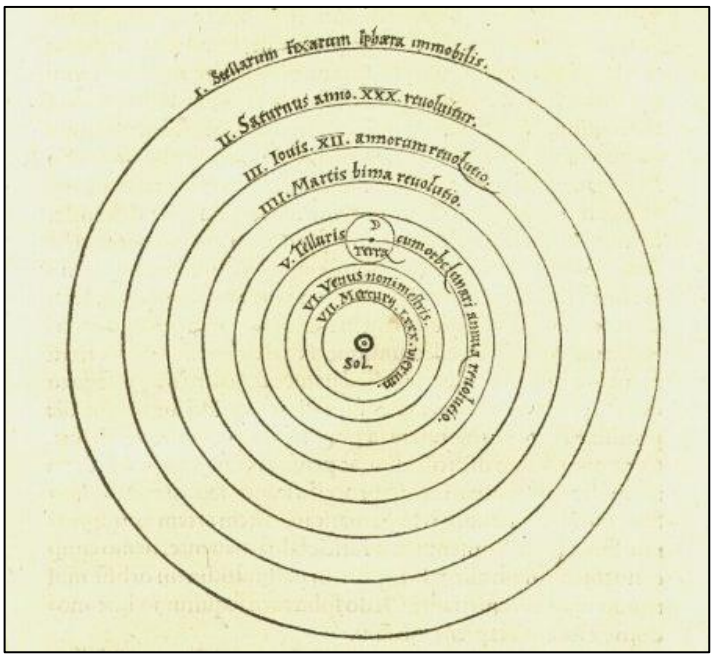
Fonte: OLIVEIRA (2019).

De acordo com Kepler e Saraiva (2014, p. 66-67), as realizações mais importantes de Copérnico foram:

- Introduziu o conceito de que a Terra é apenas um dos seis planetas (então conhecidos) girando em torno do Sol;
- Colocou os planetas em ordem de distância ao Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno (Urano, Netuno e Plutão);
- Determinou as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da distância Terra-Sol;
- Deduziu que quanto mais perto do Sol está o planeta, maior é sua velocidade orbital. Dessa forma, o movimento retrógrado dos planetas foi facilmente explicado sem necessidade de epiciclos.

E com isso, Copérnico simplificou todo o sistema de Ptolomeu com seus muitos epiciclos, apenas atribuindo a retrogradação dos planetas ao simples fato de possuírem velocidades diferentes ao redor do Sol, conforme mostra a figura abaixo:

Figura 6 - Diagrama feito por Copérnico em 1543 mostra os planetas girando em torno do Sol.



Fonte: SOUZA [entre 2006 e 2019].

> Segundo Copérnico, o Sol passava a ocupar o centro do Universo, enquanto a Terra e os demais planetas giravam ao seu redor. Copérnico, no entanto, manteve, ainda sob influência do antigo modelo cosmológico, a ideia de um Universo finito, fechado por esferas, onde os planetas descreviam órbitas circulares perfeitas. Sua teoria heliocêntrica ainda estava fundamentada em critérios de valor. Segundo seu ponto de vista, parecia ser irracional mover um corpo tão grande como o Sol, em vez de outro tão pequeno como a Terra. Além disso, Copérnico atribuía ao Sol, fonte de luz e de vida, uma condição superior em nobreza. Portanto, ele seria mais merecedor do estado de repouso, sinônimo de estabilidade, do que a Terra, que assim permaneceria em constante movimento. (PORTO; PORTO, 2008, p. 04)

Em sua obra Copérnico justifica a posição do Sol dizendo: “Mas no centro de tudo situa-se o Sol. Quem, com efeito, nesse esplendido templo colocaria a luz em lugar diferente

ou melhor do que aquele de onde ela pudesse iluminar ao mesmo tempo todo o templo? (...) Assim, como que repousando no trono real, o Sol governa a circundante família de astros" (*ibid*.).

O modelo copernicano era simples e capaz de calcular e explicar com precisão resultados astronômicos.

> Vários problemas particulares que desafiavam a interpretação baseada no modelo de Ptolomeu, cujas soluções contribuíram para seu grau crescente de artificialidade e obscuridade, foram mais naturalmente explicados por Copérnico. Por exemplo, as irregularidades observadas nos movimentos planetários eram agora atribuídas ao fato de esses movimentos estarem sendo observados do ponto de vista da Terra, ela própria em movimento. Ao contrário, do ponto de vista de alguém que estivesse em repouso em relação ao Sol, a simplicidade circular dos movimentos planetários estaria preservada. (*ibid.*)

Por fim, a proposta de Copérnico sobre o modelo heliocêntrico parecia concordar mais com as observações do que a de Ptolomeu e por isso se manteve como correta.

Porém, durante sua vida, Copérnico não teve coragem de expor sua teoria e o seu mais famoso livro *De Revolutionibus*, foi publicado por seus discípulos no ano de sua morte. Em sua obra havia um escrito na introdução (não feito pelo autor), ressaltando que as hipóteses apresentadas eram apenas um mero artifício matemático propostos para serem usados como uma correção para os problemas apresentados pelo modelo ptolomaico, ou seja a sua obra não deveria ser levada como uma descrição da realidade. Toda essa resistência de Copérnico em divulgar seus estudos se deve ao fato do mesmo se mostrar preocupado com a grande oposição à ideia heliocêntrica. Segundo Peduzzi (*ibid*., p.73) "Ele temia ser ridicularizado com a hipótese de uma Terra móvel, que contrariava amplamente a evidência dos sentidos". Sobre o impacto provocado pelo modelo, Steiner (2006, p. 236) afirma que:

> O modelo heliocêntrico provocou uma revolução não somente na astronomia, mas também um impacto cultural com reflexos filosóficos e religiosos. O modelo aristotélico havia sido incorporado de tal forma no pensamento, que tirar o homem do centro do universo acabou se revelando uma experiência traumática.

O autor nesse mesmo parágrafo segue questionando o motivo pelo qual o modelo de Aristarco de Samos não ter conseguido se sustentar em sua época, embora estivesse certo e justifica dizendo:

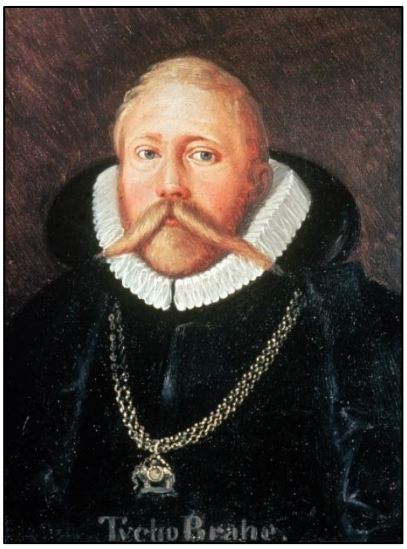
> Basicamente porque, para fins práticos, não fazia muita diferença quando comparado com o modelo geocêntrico. As medidas não eram muito precisas e tanto uma teoria quanto a outra davam respostas satisfatórias. Nesse caso, o modelo geocêntrico parecia mais de acordo com a prática do dia-a-dia; além disso, era um modelo homocêntrico, o que estava em acordo com o demandado por escolas filosóficas e teológicas. (*ibid*.)

Contudo, ainda com as dificuldades de aceitação de seu modelo para a época, de acordo com Peduzzi (2008), Copérnico formulou um trabalho notável e essencial para o desenvolvimento da ciência com proposições novas para um sistema astronômico matematicamente formulado, concebido sobre novas bases. Com o tempo muitos estudiosos se entusiasmaram com seu trabalho, enquanto outros continuaram a questionar se tal modelo era realmente o mais adepto.

2.2.3 Modelo de Tycho Brahe

Dinamarquês de família nobre, Tycho Brahe (1546 – 1610) em seus estudos nas universidades de Copenhagen, Leipzig e posteriormente em universidades alemãs desenvolveu o interesse pela astronomia e por instrumentos astronômicos.

Figura 7 - Tycho Brahe



Fonte: TYCHO BRAHE (2019).

Considerado o maior astrônomo observador da era pré-telescópica, Tycho desempenhou um papel importante ao criar uma metodologia que lhe fornecia uma maior

precisão nos dados das posições dos planetas. Suas técnicas eram cerca de dez vezes mais precisas do que medidas anteriores e se baseavam em fazer medidas a olho nu[5].

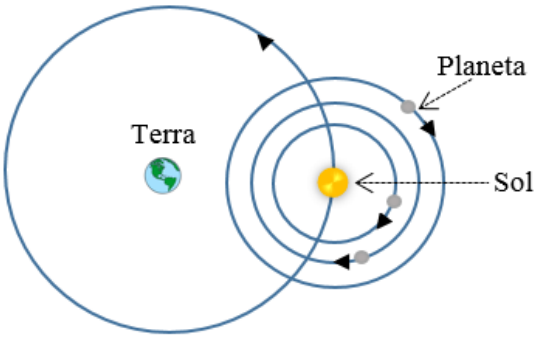
> Desde muito jovem, Tycho percebeu que observações ocasionais e esporádicas dos corpos celestes, uma prática até então empregada pelos astrônomos, não propiciava dados suficientemente confiáveis para a elaboração de tabelas planetárias precisas. Assim, juntamente com colaboradores desenvolveu um extenso programa de observação sistemática do céu durante vários anos, o qual culminou com o mapeamento de cerca de 1000 estrelas e o desenvolvimento de novas tabelas para a posições de planetas. (PEDUZZI, 2008, p. 88)

Em sua obra, Feynman destaca a importância do trabalho desenvolvido por Tycho:

> Tycho Brahe teve uma ideia que foi diferente de qualquer coisa proposta pelos antigos: a ideia dele foi que esses debates sobre a natureza dos movimentos dos planetas seriam mais bem resolvidos se as posições reais dos planetas no céu fossem medidas com precisão suficiente. Se a medida mostrasse exatamente como os planetas se moviam, então talvez fosse possível estabelecer um ou outro ponto de vista. Essa foi uma grande ideia – que para descobrir algo é melhor realizar algumas experiências cuidadosas, do que prosseguir com profundos argumentos filosóficos. Perseguindo essa ideia, Tycho Brahe estudou as posições dos planetas durante vários anos em seu observatório na ilha de Hven, perto de Copenhagen. (2008, p.83)

Com isso, estudando os dois modelos em discursão, descobriu que o grande problema era estarem ambos baseados em medidas imprecisas. Usando enormes transferidores de latão chamados de quadrantes, Brahe pode medir precisamente as posições dos planetas, por mais de 20 (vinte) anos, obtendo registros desses movimentos nunca conseguidos antes, e válidos até hoje. Baseando-se nesses dados, estabeleceu um modelo para o sistema planetário que incluía aspectos dos modelos geocêntricos de Aristóteles e Ptolomeu e do modelo heliocêntrico de Copérnico. Veja as figuras abaixo:

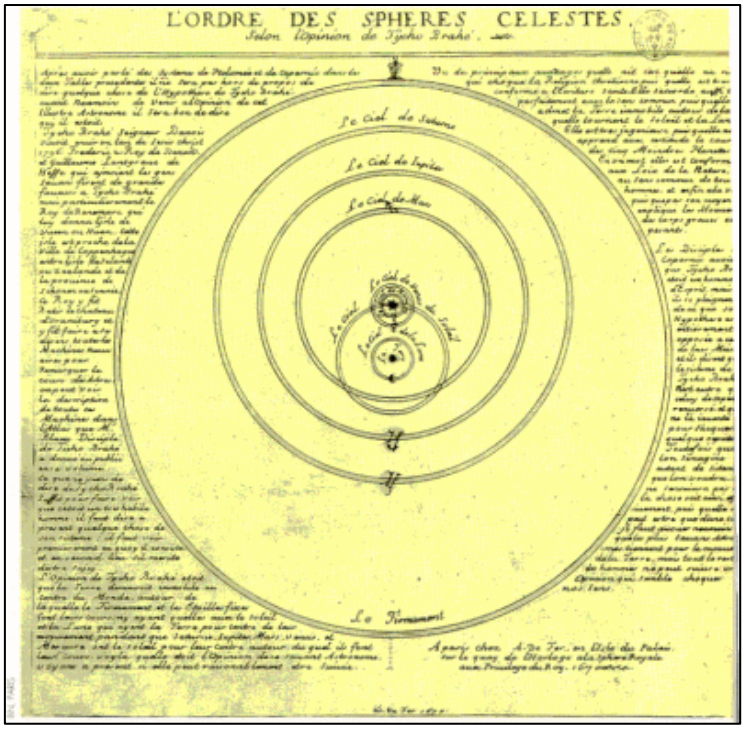
Figura 8 - Esquema em detalhes do sistema Tychonico, não desenhado em escala.



Fonte: (Adaptada de PENTEADO; TORRES, 2005).

[5] É importante lembrar que nessa época ainda não haviam inventado lunetas e telescópios.

Figura 9 - Modelo hibrido de Tycho Brahe.



Fonte: (NOGUEIRA,2009).

Em seu modelo essencialmente geocêntrico, a Terra estava no centro do universo em repouso, com o Sol e a Lua giram em seu redor. Os outros cinco planetas giram em torno do Sol. Podemos observar na imagem anterior, que a ordem de afastamento dos planetas a partir do Sol é a mesma proposta no modelo de Copérnico.

Entretanto, após a sua morte, o seu então promissor assistente, Johannes Kepler, usando suas valiosas observações, formulou as suas leis dos movimentos dos planetas.

2.3 As Leis de Kepler

Johannes Kepler (**Figura 10**) nasceu em Weil der Stadt, cidade do sul da Alemanha, em 27 de dezembro de 1571 e faleceu em 1630 com 59 (cinquenta e nove) anos. Ingressou com uma bolsa de estudo para a Universidade de Tuebingen, em 1589, onde entrou em contato com as ideias de Copérnico, ficando encantado com a simplicidade do seu modelo.

A fascinação pela Ciência e pela Matemática era tão grande que ele desistiu de se tornar ministro da igreja. Aos 23 (vinte e três) anos, em 1594, aceitou o convite para lecionar Astronomia na Universidade de Graz, na Áustria.

Figura 10 - Johannes Kepler (1571 – 1630).

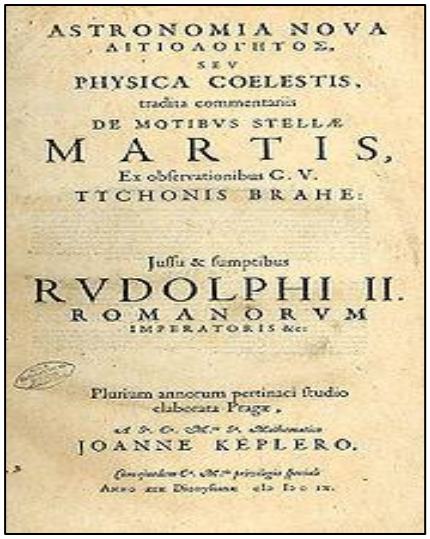
Fonte: (JOHANNES KEPLER 2019).

Kepler já era conhecido por seus estudos das órbitas dos planetas, e inicialmente, procurou relacionar seus dados com os sólidos geométricos, tentando verificar se estes poderiam ser inscritos nas esferas planetárias do modelo de Copérnico, encaixando as "esferas planetárias" a uma distância que permitisse uma escala exata das distâncias planetárias ao Sol. Com esse modelo ele acreditava que uma geometria perfeita teria que conter os poliedros regulares conhecidos desde o tempo dos gregos. E em 1596, publicou esse modelo na sua obra *Mysterium.*

No ano de 1598, Kepler deixou Graz e se reuniu ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe, que ficou impressionado com seus dados publicados no seu livro *Mysterium*. O mesmo se encontrava exilado em Praga e era famoso por gerar uma grande quantidade de dados de alta qualidade.

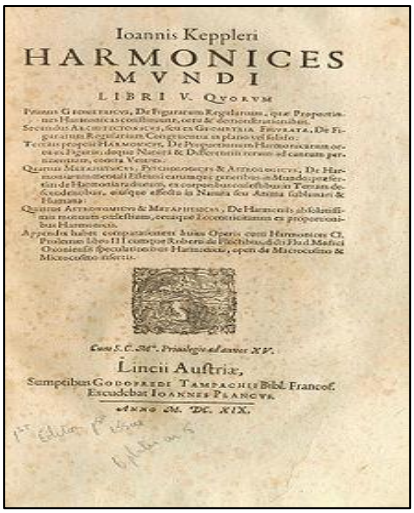
Depois da morte de Tycho em 1601, Kepler herdou todos os seus dados, se dedicando ao cálculo da órbita de Marte, que era um problema bastante complexo, pois tanto no modelo ptolomaico, quanto no modelo copernicano, também no de Brahe apresentavam inconsistências bastante evidentes, entre o que previam tais modelos e a trajetória real deste planeta no céu. As suas duas primeiras leis foram publicadas simultaneamente em 1609, no livro Astronomia Nova (**Figura 11**), já a sua terceira lei, determinada dez anos mais tarde (1610) em sua obra titulada Harmonia do Mundo (**Figura 12**). Tais leis que contemplavam essas obras serão discutidas nos próximos tópicos.

Figura 11 - Capa do livro Astronomia Nova (1609).



Fonte: (ASTRONOMIA NOVA 2017).

Figura 12 - Capa do livro Harmonia do Mundo (1619).



Fonte: (HARMONICES MUNDI, 2019).

2.4 A Primeira Lei de Kepler

Como abordado no tópico anterior, os três sistemas de planetários conhecidos até então, contemplavam órbitas circulares, uma vez que o círculo era aceito como uma figura ideal. Tal ideia estava de acordo com as concepções aristotélicas da perfeição do círculo; a perfeição que deveria existir no universo. Kepler também por ser um grande defensor do modelo copernicano (que também afirmava que as órbitas dos planetas eram circulares) tentou sem sucesso, durante anos, adequar os dados das observações de Brahe para a órbita do planeta

Marte a um círculo. Porém, o ajuste sempre resultava em um atraso de alguns minutos de arco, fato que ele não aceitará, embora tivesse tido pouco convívio com o grande astrônomo, tal período fora suficiente para mostrar a sua obstinação e cuidado com relação as suas medidas.

> Após um extenso e árduo trabalho, Kepler concluiu que algumas posições previstas teoricamente, para o planeta apresentavam uma discordância de 8 minutos de arco em relação as observações de Brahe. Ptolomeu e Copérnico podiam aceitar uma discrepância entre observação e teoria dessa magnitude, pois as observações que se valeram para o teste de suas teorias apresentavam uma margem de erro de dez minutos de arco. Mas não Kepler, apoiado em medidas que ele não colocava em dúvidas e cuja a precisão se situava em torno de quatro minutos de arco. (PEDUZZI, 2008, p. 149)

Com isso, apesar da relutância inicial, Kepler optou por abandonar a ideia da perfeição da forma circular, existente a quase dois mil anos. Decisão essa que ocorreu devido a diferença entre observação e teoria, que levaram Kepler a duas situações: modificar seu modelo ou abandoná-lo. A modificação não era vantajosa, uma vez que levaria a um aumento na complexidade matemática do modelo.

> Esse momento da obra de Kepler ilustra, com rara propriedade, a marca de um novo tempo na história da ciência, no qual se define como condição fundamental à plena aceitação de uma teoria a sua harmonia como fato empírico: "Anteriormente, quando um pormenor de menos peso não se ajustava a uma hipótese de maior importância, era dissimulado ou posto fora. Essa indulgência consagrada pelo tempo deixa de ser permissível." Começa a soprar os ventos de uma nova era de 'austeridade e rigor' na ciência. (*ibid.*, p. 150)

Então, com a utilização das observações do planeta Marte para um período da sua órbita, Kepler concluiu que a órbita que melhor representaria o movimento do planeta marciano em torno do Sol era uma elipse. Com essa nova análise ele observou que os dados obtidos por Brahe sobre as posições desse planeta concordavam muito bem com seus cálculos. Vale ressaltar que "o que Kepler descobriu não foi simplesmente que a órbita de Marte é uma elipse, uma descoberta extraordinária por si só, mas também que o Sol está em um dos focos (o outro está vazio)" (RUTHERFORD, et al., 1970, p. 61).

> Após várias tentativas, incluindo uma modificação no modelo original de Copérnico, colocando o Sol no centro geométrico das órbitas circulares, Kepler concluiu que a curva que melhor descrevia a órbita de Marte, de acordo com o experimento, seria uma elipse, com o Sol ocupando um dos focos. (MARQUES et al., 2016, p. 253).

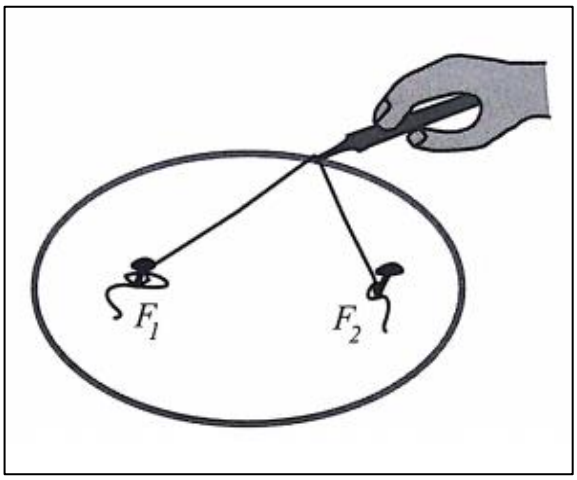
A partir dessas informações nascia em 1605 a **1ª Lei de Kepler,** chamada de **Lei das Órbitas**, que diz:

"Todos os planetas se movem em órbitas elípticas com o Sol em um dos focos."

2.4.1 Propriedades de uma elipse

Uma elipse não é apenas uma oval e sim o lugar geométrico dos pontos para os quais as somas das distâncias a dois pontos fixos, que são definidos como focos (F) seja uma constante, como mostrado na **Figura 13**. Nesta é observado a construção de uma elipse utilizando um barbante preso em dois pontos que representam os focos.

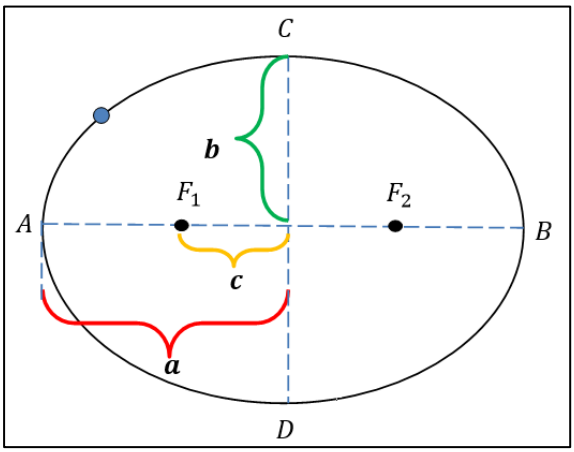
Figura 13 - Construção de uma elipse e F1 e F2 são os focos dessa elipse.



Fonte: (MARQUES et al., 2016).

Conforme a imagem abaixo, podemos observar as seguintes propriedades: a linha AB é chamada eixo maior; a linha CD é o eixo menor; e os pontos F_1 e F_2 são chamados focos da elipse. As distâncias $\boldsymbol{a}$ e $\boldsymbol{b}$ são o semieixo maior e o semieixo menor, respectivamente e $\boldsymbol{c}$ representa a metade da distância entre os focos.

Figura 14 - Elementos de uma elipse.



Fonte: Própria (2019).

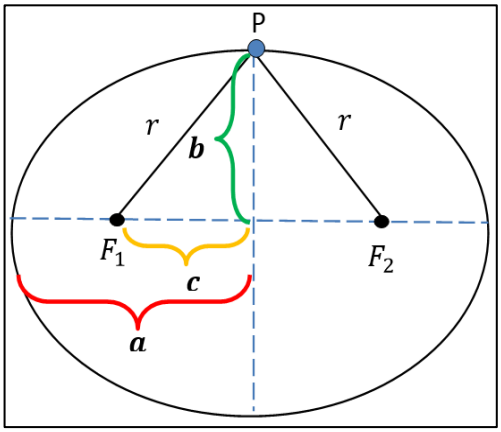
Os parâmetros $a, b\ e\ c$ são relacionados através da equação 2.1, abaixo:

$$a^2 = b^2 + c^2 \qquad (2.1)$$

A fim de demonstrar a equação citada, inicialmente iremos observar a figura 15, considerando P como um ponto sobre a elipse e F_1 e F_2 os seus focos. Logo, em qualquer ponto da curva, a soma das distâncias desse ponto aos dois focos é constante.

$$PF_1 + PF_2 = constante \qquad (2.2)$$

Figura 15 – Parâmetro r na elipse que equivale a distância do ponto P aos focos.



Fonte: Própria (2019).

Relacionando o parâmetro r (que para a demonstração irá funcionar como uma grandeza auxiliar) com a e c, teremos:

$$r + r = (a + c) + (a - c)$$

$$2\,r = 2a$$

$$r = a \qquad (2.3)$$

Através da figura acima, também é possível observar que quando o posto P se encontra exatamente sobre b temos um triângulo retângulo. Logo, relacionando os parâmetros r com a hipotenusa, b e c com os catetos, obtemos:

$$r^2 = b^2 + c^2 \qquad (2.4)$$

Por fim, relacionando as equações 2.3 e 2.4, iremos obter justamente a relação entre os parâmetros dessa elipse, veja a seguir:

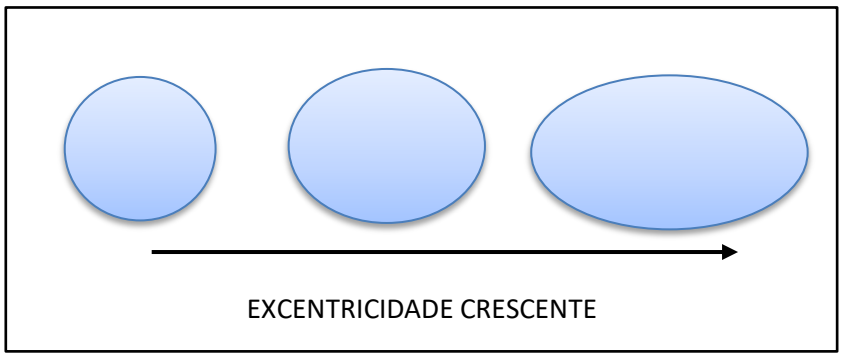
$$a^2 = b^2 + c^2 \qquad (2.5)$$

A elipse também é caracterizada por um número e, chamado excentricidade, que é igual a distância entre os focos F_1F_2, dividida pelo eixo maior, ou seja:

$$e = \frac{\overline{F_1F_2}}{\overline{AB}} \qquad (2.6)$$

A excentricidade é uma grandeza que varia de 0 a 1. Quando a excentricidade é igual a 0, a elipse torna-se um círculo, pois F_1 coincide com F_2, sendo a distância F_1F_2 igual a 0, e a distância AB o diâmetro do círculo. Quanto maior a excentricidade, mais alongada será a elipse, conforme se vê na figura abaixo:

Figura 16 – Elipses com excentricidades diferentes.



Fonte: (Adaptada de CARVALHO FILHO; 2007).

É importante enfatizar que nas ilustrações anteriores, mostramos órbitas bastante excêntricas. Porém as órbitas reais dos planetas são muito menos excêntricas do que estas, veja na **Figura 17**, tais representações podem nos dar uma ideia de como foi difícil para Kepler chegar a representação real da órbita de Marte. Segundo Canalle (2003, p.12), “Pelos dados observacionais de Tycho Brahe, Kepler descobriu que as órbitas dos planetas eram elípticas com baixíssima excentricidade, e não circulares, como até então se acreditava”.

Figura 17 - Representação das órbitas de nove planetas desenhadas com o eixo maior de 4 cm. Os pontos centrais da elipse representam o seu centro e os pontos a direita a posição de um dos seus focos.

Fonte: (CANALLE; 2003).

Por fim, com descoberta de que a órbita de Marte não era circular e sim elíptica, Kepler fez imediatamente uma generalização para os demais planetas.

2.5 A Segunda Lei de Kepler

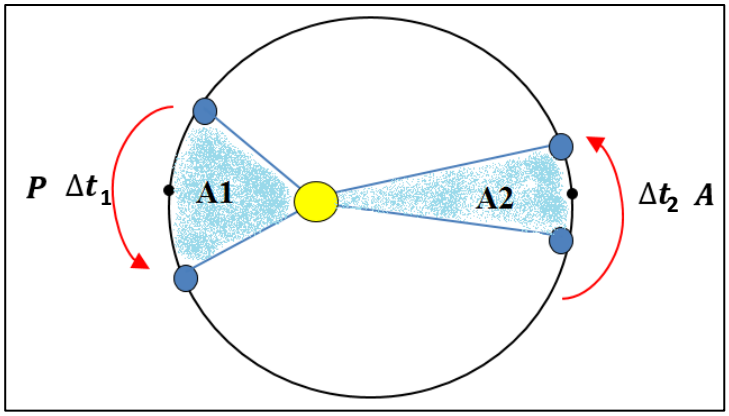
Outra observação feita por Kepler em sua obra foi com relação aos movimentos dos planetas não serem uniformes, ou seja o módulo de sua velocidade orbital varia ao longo de sua órbita elíptica interferindo assim na proximidade dos planetas com relação ao Sol. Para Kepler chegar a essa observação Koestler (1989, p. 221) relata que:

> A órbita que Kepler encontrou para a Terra era muito próxima de um círculo, com o Sol um pouco deslocado do ponto central. Pelo o seu traçado e a partir dos seus registros das posições aparentes do Sol para cada data do ano ele pôde localizar a posição da Terra e da sua órbita e [estimar] a sua velocidade ao longo da mesma.

O que Kepler descobriu em suas análises para o planeta Terra foi que uma linha traçada do planeta ao Sol gerava áreas iguais em mesmo intervalo de tempo. A **Figura 18** mostra um esquema relacionando o que fora observado por Kepler em sua segunda lei. Sobre essa medida da área da órbita da Terra realizada pelo astrônomo, Rutherford destaca que, "Acredita-se que Kepler tenha de fato calculado tais áreas somente para as posições mais próximas e mais distantes dos planetas Terra e Marte; contudo, a simplicidade e beleza desta relação levou-o a concluir que pela a sua validade geral, isto é, para todas as partes das órbitas" (1970, p.58).

Importante sublinhar que o ponto mais próximo do planeta com relação ao Sol é chamado de periélio (P) e sua velocidade é maior, enquanto que o mais distante é o afélio (A) e sua velocidade menor.

Figura 18 – Para um mesmo intervalo de tempo um planeta em torno do Sol se movimenta mais rápido em A1 e mais lentamente em A2.



Fonte: Própria (2019).

Após essas observações, Kepler então deduzindo a sua **2ª Lei** chamada de **Leis das Áreas,** que é definida como:

"A linha que liga o Sol aos planetas varre áreas iguais em tempos iguais."

Feynman, em seu livro, relata um exemplo sobre essa lei:

> Suponha que um planeta é observado em dois momentos sucessivos quaisquer, digamos, com uma diferença de uma semana, e que se trace o raio vetor [é uma linha traçada do Sol a qualquer ponto da órbita de um planeta] até o planeta para cada posição observada. O arco de órbita percorrido pelo planeta durante a semana e os dois raios vetores delimitam certa área plana (área sombreada). Se duas observações similares são feitas com uma semana de intervalo, em uma parte da órbita mais distante do Sol (onde o planeta se desloca mais lentamente), a área delimitada, de mesma forma, será exatamente igual à do primeiro caso. Então, de acordo com a segunda lei, a velocidade orbital de cada planeta é tal que o raio "varre" áreas iguais em intervalos de tempo iguais. (2008, p. 84)

Ainda que a velocidade orbital não seja constante, a taxa de variação da área varrida em intervalos de tempos iguais é constante. Observe a equação abaixo:

$$\frac{dA}{dt} = constante \qquad (2.7)$$

Após sua descoberta sobre a relação das áreas na órbita da Terra, Kepler logo constatou que essa mesma regra se aplicava ao planeta Marte. Com esse feito, Kepler tinha descoberto então a primeira propriedade que se mantinha constante no movimento de um planeta, fato importante para anos depois chegarem à conclusão de que a lei das áreas na verdade é uma consequência direta da lei de conservação do momento angular.

Enfatizamos que Kepler descobriu primeiro a lei que pedagogicamente nos livros didáticos chamam de Segunda Lei.

2.6 A Terceira Lei de Kepler

Anos depois, ainda intrigado com a busca de uma regularidade para relacionar as diferentes órbitas dos planetas, Kepler conseguiu formular uma lei diferente das outras duas pois, ao contrário dessas, a sua terceira lei não lida apenas com um planeta individual, mas relaciona um planeta a outro.

> Até agora, cada planeta parecia ter sua própria órbita e velocidade, sem existir um modelo geral para todos os planetas. Kepler buscava uma relação simples que pudesse descrever todos os movimentos que ocorrem no sistema solar. A procura pela simplicidade e uniformidade da natureza é na verdade uma tendência que se manifesta por toda história da ciência. (HOLTON et al., 1993).

Ainda de acordo com Peduzzi (2008, p.155):

> O fato das velocidades orbitais dos planetas descreverem com a distância ao Sol, com o consequente aumento dos correspondentes períodos de revolução, fez Kepler intuir que deveria haver uma relação de dependência entre esses dois parâmetros do movimento planetário. De fato essa ligação existe e Kepler a encontrou para a sua satisfação pessoal, já que ansiava por alguma lei de 'ligasse', por assim dizer, as diversas órbitas planetárias.

E em 1619, Kepler publica a sua **3ª Lei** conhecida como a **Lei dos Períodos**, enunciada, como:

"O quadrado do período de revolução de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita."

Esta lei afirma que, quando os períodos de dois planetas e as suas distâncias médias são comparados, os períodos são proporcionais à potência de 3/2 de suas distâncias (tamanho da órbita). Com isso, o período (T) equivale ao intervalo de tempo que o planeta leva para percorrer uma volta completa em torno do Sol, e a distância média de um planeta ao Sol é igual ao semieixo maior (a) da órbita elíptica. Ou seja,

$$a^3 \sim T^2 \tag{2.8}$$

Sendo assim, se tomarmos dois planetas X e Y, com os períodos T_X e T_Y que estão relacionados aos semieixos maiores de suas órbitas a_X e a_Y, teremos tais relações:

$$\frac{T_X^2}{T_Y^2} = \frac{a_X^3}{a_Y^3} \rightarrow \frac{T_X^2}{a_X^3} = \frac{T_Y^2}{a_Y^3} = constante \tag{2.9}$$

Através das equações citadas, é visível que a constante de proporcionalidade é a mesma para todos os planetas. A tabela 1 a seguir mostra que tal relação entre a razão dos períodos e dos semieixos maiores tem praticamente o mesmo valor para todas as órbitas planetárias em torno de um corpo de grande massa.

Tabela 1 - Terceira Lei de Kepler para os períodos dos planetas.

Planeta	**Semieixo Maior** $a(10^{10}m)$	**Período** $T(anos)$	T^2/a^3 $(10^{-34}\, anos^2/m^3)$
Mercúrio	5,79	0,241	2,99
Vênus	10,8	0,615	3,00
Terra	15,0	1,00	2,96
Marte	22,8	1,88	2,98
Júpiter	77,8	11,9	3,01
Saturo	143	29,5	2,98
Urano	278	84,0	2,98
Netuno	450	165	2,99

Fonte: (Adaptada de HALLYDAY; 2012).

De acordo com esses dados, pode-se observar que o período de um planeta em torno do Sol aumenta rapidamente com o raio de sua órbita. Por exemplo, Mercúrio, que é o planeta mais próximo do Sol, leva somente 88 dias, ou 0,241 anos para completar uma órbita em torno do Sol, enquanto o planeta mais externo, Netuno, leva 60.190 dias, ou seja, 165(cento e sessenta e cinco) anos para fazer o mesmo.

Após toda essa análise ficou evidente a relevância dos estudos de Kepler com a formulação das suas três leis, que mesmo indo de encontro com as suas crenças, sabia que mais importantes eram as evidências empíricas reveladas através de seus dados observacionais. Segundo Gleiser, "A partir de Kepler, a astronomia toma outro rumo, definido pela precisão das medidas e pela busca por leis matemáticas capazes de descrever os fenômenos celestes." (2017, p. 64).

Contudo, o seu maior triunfo seria alcançado anos depois com a utilização da lei dos períodos (sua terceira lei) por Newton para a criação da sua Lei da Gravitação Universal publicada em 1687.

> Kepler além de ter tornado o Sistema de Copérnico mais simples (sem a necessidade de epiciclos e de outros recursos) e preciso, foi fonte de inspiração para que Newton conseguisse desenvolver a Lei da Gravitação Universal. Afinal, qual deveria ser a dependência da força gravitacional com a distância que separa um corpo celeste do Sol, para que o primeiro execute uma órbita elíptica em torno deste último? Além desta importante contribuição de Kepler, na visão do autor desta dissertação, trata-se de um personagem demasiadamente interessante por se colocar como um elemento de transição entre o fazer ciência na modernidade e na antiguidade. Seus argumentos de natureza metafísica como também os de Newton (que, no entanto, os suprimiu dos seus tratados científicos) andam lado a lado com o seu fazer ciência, seja na ordenação dos orbes celestes, utilizando sólidos platônicos, seja ao considerar o porquê de o Sol dever estar em posição tão privilegiada. (SILVA, 2017, p. 22)

A partir do exposto é relevante confirmar que os dados apresentados por Kepler foram e continuam sendo indispensáveis para a formação do homem no fazer ciência em uma concepção holística no contexto social.

Contudo, de acordo com o que foi abordado no tópico 2.1, o conteúdo estruturante "As Leis de Kepler" é compreendido nesta dissertação como um campo conceitual fundamentado na teoria de Vergnaud, a partir disso, no próximo capitulo a sua teoria será abordada em uma perspectiva significativa da aprendizagem conceitual.

3 VERGNAUD E A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA

Gérard Vergnaud, nascido em 1933 é um matemático, filósofo e psicólogo francês orientando de doutorado de Jean Piaget, onde compôs o seu segundo conjunto de pesquisadores, e tendo elaborado a Teoria dos Campos Conceituais (TCC)[6]. Atualmente é diretor emérito de estudos do Centro Nacional de Pesquisas Científicas (CNRS, na sigla em francês), em Paris.

A teoria de Vergnaud aponta que os pontos conceituais trazem contribuições no contexto da reflexão sobre aprendizagem e desenvolvimento, com conexões evidentes com as ideias de Piaget e Vygotsky, que acrescentados como contribuições específicas, e original, o que este autor denomina "Teoria de Referência" que propõe relações necessárias dos conceitos ao domínio epistemológico e específico, no caso da proposta deste trabalho.

Para Vergnaud (2017), a relevância da Teoria de Piaget (1947, 1996)[7], está no enfoque das ideias de adaptação, desequilibração e reequilibração como pedras angulares para a investigação em didática das ciências e da matemática. Mas, acredita que a grande pedra angular colocada por Piaget foi o conceito de esquema.

Em contrapartida, ele também reconhece igualmente que sua teoria dos campos conceituais foi desenvolvida a partir do legado de Vygotsky. Isso se percebe, por exemplo, na relevância atribuída à interação social, a linguagem e a simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos (MOREIRA, 1992).

Em sua teoria, Vergnaud (1982) toma como premissa que o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através de experiências, maturidade e aprendizagem. Diante disso, segundo o autor (1990, p. 23) a definição de campo conceitual é tida como:

> Campos conceituais podem ser definidos como grandes conjuntos, informais e heterogêneos, de situações e problemas cuja análise e tratamento requer diversas classes de conceitos, procedimentos e representações simbólicas que se conectam umas com outras.

[6] A **teoria dos campos conceituais** de Gerard Vergnaud é uma teoria cognitivista que visa fornecer um quadro coerente e alguns princípios de base para o estudo do desenvolvimento e da aprendizagem das competências complexas, sobretudo aquelas relacionadas com as ciências e as técnicas (VERGNAUD, 1990).

[7] Segundo a Teoria de Piaget, o principal alicerce é o equilíbrio, com isso, todo organismo vivo procura manter um estado de equilíbrio com seu meio. Dentro da teoria temos que o processo do desenvolvimento cognitivo é formado por fatores como a **adaptação** que é o equilíbrio entre a assimilação da experiência às estruturas dedutivas e a acomodação dessas estruturas aos dados da experiência, e a **desequilibração** e a **reequilibração** que fazem parte do processo de acomodação do sujeito frente aos desafios propostos, tendo que existir para que ocorra o desenvolvimento cognitivo, ou seja, a oportunidade de interagir e agir.

Logo, a TCC procura explicitar o desenvolvimento dos processos de conceitualização, partindo do princípio que a maior parte dos nossos conhecimentos são formados por competências (informações e habilidades).

> [...] um conjunto de situações; no campo conceitual de problemas cujo tratamento necessita conceitos procedimentos e representações de tipos distintos porém estritamente interconectado. Campo conceitual é um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de natureza diferente. Campo conceitual pode ser considerada em primeiro lugar como um conjunto de situações. (MOREIRA, 1996, p. 9).

Diante dessa abordagem, é compreensível que para o autor um conceito torna-se significativo para o aprendiz por meio de uma variedade de situações e os diversos aspectos que estão envolvidos nas diferentes situações, sendo necessário na pratica educativa intra e extraescolar inserido no contexto ambiental e social como um conjunto de situações.

Nesse caso, existem dois tipos de situações ou problemas que quando assumem algum significado para o aprendiz, geram dois tipos de processos diferentes para a sua resolução, e eles identificam-se como: 1 - a primeira classe de situações no qual o sujeito já possui em seu repertório de competências dos conhecimentos prévios; 2 - a segunda classe de situações o sujeito não dispõe de todas as competências.

Com isso, é necessário acreditarmos que cabe ao facilitador (docente) quando este detecta o aparecimento da zona de desenvolvimento proximal, estabelecer as situações corretas e os sentidos corretos para que sejam consolidados os conceitos corretamente, e que com isso, haja o processo de aprendizagem.

Vergnaud (1990) também esclarece que o significado de situações em sua teoria tem limitações ao sentido que esse conceito tem habitualmente em psicologia, ou seja os processos cognitivos e respostas do sujeito em função das situações com as quais se defronta. Para ele, como visto acima, são situações que dão sentido aos conceitos, mas o sentido não está nas situações em si, e sim no isomorfismo estabelecido entre situações e os próprios conceitos sob a ótica de vários deles.

Ainda, segundo Vergnaud (*ibid*., p. 135) “um conceito não pode ser reduzido a sua definição se estamos interessados na sua aprendizagem e no seu ensino. É através de situações e de problemas que um conceito adquire sentido para o aluno”. Logo, o autor define conceito como um conjunto de três subconjuntos, C= (S, I, R), que são definidos como:

1. Conjunto de Situações (S) – responsáveis pelo sentido do conceito, são problemas e tarefas tangíveis ao estudante;

2. Invariantes operatórios (I) - representam o significado do conceito e permitem reconhecê-lo em diferentes contextos;

3. Representações Simbólicas (R) – são as diferentes representações que se pode fazer do conceito, ferramentas para a representação da realidade, produzidas pelo estudante durante o processo de aprendizagem, ou seja, os significantes do conceito.

De acordo com Vergnaud (2007), os conjuntos de situações (S) apresentados não devem ser iguais em todo o processo de ensino, também não podem ser muito complexos, uma vez que o conhecimento evolui na medida que novas situações fazem com que os sujeitos se vejam livres de indicativos de solução.

As representações simbólicas (R) são de acordo com Araújo (2019, p. 24) "o apanhado de palavras, sentenças, gráficos, esboços, abstrações imagéticas, equações, etc.", sendo usadas para indicar e representar os invariantes operatórios (I) que são a parte essencial do conceito de esquemas.

Consequentemente, para Vergnaud os invariantes operatórios são classificados como:

> I é o conjunto de invariantes operatórios que estruturam as formas de organização da atividade (esquemas)... identificação de objetos materiais e de suas relações pela percepção e interpretação das informações em situações que envolvem a incerteza, hipóteses, e raciocínios que repousam sobre os objetos sofisticadamente elaborados pela cultura. (2009, p. 23, 29)

A manifestação dos invariantes muitas vezes ocorrem de forma implícita, com isso, muitas conclusões ocorrem de modo intuitivo. Diante disso, Vergnaud (1996, 2009) afirma que os invariantes operatórios se dividem em conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que de acordo com Nogueira e Ferreira (2016, p. 3) "os conceito-em-ação tem foco na ação do estudante, quando, por exemplo, ele mobiliza conceitos matemáticos implícitos numa determinada situação, enquanto os teorema-em-ação seria uma proposição tida como verdadeira ou falsa na ação".

Como falado anteriormente, os invariantes fazem parte do conceito de esquemas que é fundamental na teoria de Vergnaud, e chama de esquema a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (1990; 1998). Ainda segundo ele é nos esquemas que se devem pesquisar os conhecimentos-em-ação do sujeito, ou seja, os elementos cognitivos que fazem com que ação do sujeito seja operatória. Um esquema então vai gerar ações pelo que deve conter regras, porém não um estereótipo porque a sequência de ações depende das particularidades da situação (1994).

Os conceitos chaves das teorias de campos conceituais são além do seu próprio conceito a grande herança Piagetiana de Vergnaud situações, invariantes operatórios e a sua concepção de conceitos, as implicações para o ensino, de ciências em particular para a pesquisa em ensino, considerando o campo conceitual como uma unidade de estudo para dar sentido às dificuldades observadas do conceito real. Já que o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, Vergnaud (1994) destaca que é preciso dar toda atenção aos aspectos conceituais das quais os aprendizes desenvolvem seus esquemas na escola ou na vida real.

Na disciplina de Física, no processo de ensino-aprendizagem é sabido que alunos enfrentam desafios, relacionados aos conceitos abordados nesta disciplina, devido à dificuldade que o discente encontra de tornar significativo tal conhecimento abordado e construir assim seus próprios invariantes operatórios através da linguagem, seja oral, pictórica, gráfica ou corporal. Entretanto, os saberes práticos, mesmo quando explicitados, muitas vezes não revelam todos os conceitos e sistemas são como sugerem Vergnaud em um dos seus trabalhos definindo como apenas a "ponta visível do *iceberg*" da conceitualização, ressaltando que:

> Não há necessariamente, uma hierarquia de competências. Compreendemos, assim, que em diversas situações que dão sentido a um determinado conceito de ordem mais simples ou concreto podendo ser aplicado de modo mais eficaz na solução de determinado problema do que um conceito mais complexo e abstrato, dependendo do tipo de situação encontrada. Isto requer da parte do indivíduo, não somente a posse conjunto de competências, mas na capacidade de utiliza-las adequadamente. Sendo que elas dependem do ensino aprendizagem [...] entre estes dois processos que é a ação e compreensão as relações são dialéticas. (LIMA; SANTOS, 2015, p. 62).

Nessa visão, relacionar os conceitos como pede em sua teoria em diferentes formas de linguagem e representações usadas nas ciências físicas, como textos discursivos, gráficos, tabelas, maquetes ou linguagem simbólica para confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum ao longo do tempo ou em diferentes realidades no contexto da inclusão social em termos igualitários e justos com direitos garantidos para ter qualidade de vida. Para Vergnaud, a competência do aprendiz pode, portanto ser definida a partir dos seguintes critérios, segundo Lima e Santos (*ibid*., p. 65):

> O que ele é capaz de fazer;
> Sua capacidade de obter desempenhos melhores;
> Se ele possui um leque de opções no que se refere a procedimentos ou métodos alternativos que permite ao aluno uma adaptação mais definida frente às diversas situações do dia a dia.

Já em outra argumentação, temos que:

> A partir desse entendimento, percebe-se que a teoria dos campos conceituais de Vergnaud supõe que o centro do desenvolvimento cognitivo e a conceitualização. Sendo assim, ao estabilizar de forma eficaz os conceitos estamos consolidando também de forma eficaz o conhecimento referente ao mesmo. Esta é uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades entre conhecimento do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. (GRECA; MOREIRA, 2002, não paginado).

Baseando nos expostos apontados, percebemos que, para se obter uma educação científica que busque o desempenho contínuo do aluno na área das ciências da natureza (especificamente na Física) dentro do desenvolvimento conceitual, devemos buscar trabalhar caracterizando as causas e efeitos dos fenômenos (exemplo: Leis de Kepler), através das competências e habilidades para que este discente consolide efetivamente as informações através da legitimidade do conjunto formal de problemas elucidados em aula. E com isso, no processo de apreensão desses campos conceituais, os estudantes vão adquirindo concepções e competências. De fato, a maior parte de nossos conhecimentos são competências (ou seja, o saber fazer) que se formam, desenvolvem, diferenciam, melhoram ou pioram ao longo de nossas vidas (VERGNAUD, 1996, p. 200). Confirmando o que se aborda na TCC "cognitivista neopiagetiana" e que tem uma forte contribuição dos trabalhos de Vygotsky, como falado anteriormente. Particularmente implicadas nas ciências e nas técnicas, levando em conta os próprios conteúdo dos conhecimentos e a análise conceitual do seu domínio, podendo vir a ser utilizada como modelo e estratégias de trabalho no ensino da física, devido à grande possibilidade do seu uso em sala de aula de forma interativa diretamente com os sujeitos (alunos).

A construção dos invariantes operatórios associados ao cálculo depende, como em todo campo conceitual do conjunto de situações estabelecidas e incorporadas às aulas e que dão sentido aos conteúdos conceituais estudados a Linguagem Física depende de uma hermenêutica textual, mas também pictórica e de "neologismo simbólicos" assim como a Matemática que costumam causar impactos nos alunos.

Diante disto, acreditamos que a teoria de Vergnaud confirma que os conteúdos conceituais na Educação Básica, proporciona dinamicidade com estratégias e ideia de atividade onde o professor faz com que os alunos percebam a relação de causa e efeito no contexto do ensino de física, considerando possibilidades de favorecer a melhor compreensão por parte do docente para melhor atender as dificuldades dos discentes.

Através da teoria, educador e educando encontrarão valiosas orientações para aprender uma realidade tão significativa e elementar no processo ensino aprendizagem e as

exigências que reflete no universo da educação como um todo. Também poderão encontrar através da teoria de Vergnaud, conceitos que contribuirão no âmbito acadêmico – profissional, medidas e ideias pedagógicas aplicadas a partir das perspectivas filosóficas que norteiam como marco referencial do indivíduo a compreender e construir a sua própria história numa visão holística e esclarecida para a construção do conhecimento, mediante suas *práxis* no contexto social contemporâneo. Portanto, os fundamentos dessa teoria para um Ensino de Física voltado ao Ensino Médio são cruciais para a proposição e evolução de novos conhecimentos relevantes aos alunos e a uma didática mais completa e igualitária.

4 A IMPORTÂNCIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA

Neste tópico, abordaremos sobre a teoria estudada de Vergnaud no ensino de Física, buscando sua importância nessa área, e sua abordagem no processo de ensino-aprendizagem através dos campos conceituais, pois uma análise da formação conceitual por parte dos alunos, tem papel fundamental para a resolução de problemas de diferentes campos da Física.

Lembrando que segundo Vergnaud (1982), o conhecimento se encontra organizado em campos conceituais, dos quais o sujeito se apropria ao longo do tempo. O processo de construção do conceito é chamado também por ele de "conceitualização", constituindo o núcleo do desenvolvimento cognitivo. Esse processo lento, é também direta e fortemente influenciado pela vivência do sujeito que aprende, por suas experiências, sua maturidade etc. Ou seja nesse processo de conceitualizar, o aprendiz cria relações e representações, atribuindo significados à medida que é confrontado a situações concretas que está vivenciando.

Greca e Moreira (2002, p. 35) afirmam que, "Em Física, os campos conceituais seriam definidos a partir das dificuldades na conceitualização dos modelos e teorias que explicam e interpretam a realidade, como tais são aproximações do real". Assim, em Física há vários campos conceituais em estudo como: o da Mecânica, o da Eletricidade e o da Termologia. Tais campos não podem ser ensinados de forma isolada e de imediato porque proporciona o estudo das ações dos alunos e as condições de produção, registros e comunicação durante situações de aprendizagem (uma teoria que é caracterizada por ser didática, pois está situada num sistema que liga o saber, fazer, fazendo, interação entre o aluno e o professor).

Uma das tendências na área atualmente é a defesa de que o progresso na compreensão da resolução de problemas está vinculado ao progresso na compreensão da aprendizagem das tarefas envolvidas nesse processo. Nesta mesma linha de raciocínio, há a defesa da necessidade de se distinguir o estado da resolução de problema, o conhecimento declarativo e o conhecimento procedural. Dentro destas tendências estão alguns aportes teóricos mais explícitos no que diz respeito à análise cognitiva do sujeito humano frente a uma situação-problema como é o caso da TCC de Vergnaud (SOUSA, 2001; MOREIRA, 2002). De acordo com Lima et al., temos que:

> ... uma análise da formação conceitual por parte dos alunos, que tem papel fundamental para a resolução de problemas de diferentes campos da Física tem sido apresentada em quantidade reduzida, dada sua importância para os processos de ensino e de aprendizagem.
> A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) é caracterizada como uma teoria didática, pois está situada num sistema que liga o saber, o aluno e o professor. A TCC proporciona o estudo das ações dos alunos e as condições de produção, registro e comunicação durante situações de aprendizagem. (2017, sem paginação)

E com isso, um ganho em se trabalhar com a TCC no planejamento e na análise de situações de ensino é que essa é uma teoria que lida com o desenvolvimento cognitivo e com a aprendizagem a partir dos próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual do seu domínio (MOREIRA, 2002). Para o autor, o objeto de ensino influência fortemente na forma de como o conhecimento é construído por parte do estudante.

Neste sentido, justificando utilização da TCC para o ensino de Física podemos destacar oito trabalhos revisados que foram publicados entre 2014 a 2019 e que apontaram a teoria cognitivista de Vergnaud como um pilar para a busca da compreensão dos processos da conceitualização e da apreensão do conhecimento referente a áreas da Física para o ensino médio. No quadro abaixo, encontram-se estruturados as produções com seus respectivos títulos.

Quadro 1- Produções cientificas analisadas.

N°	Autor /Autores	Ano	Natureza	Título
1	Silva e Sousa	2014	Artigo (A1)	O modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível médio.
2	Festa	2015	Dissertação (D2)	Proposta didática para desenvolver o tema da supercondutividade no ensino médio.
3	Calheiro e Pino	2017	Artigo (A2)	A compreensão dos conceitos da radiação eletromagnética no ensino médio à luz dos Campos Conceituais de Vergnaud.
4	Silva, et al.	2017	Artigo (A3)	O forno solar como ponte entre a Física e o confronto das edificações.
5	Santos, et al.	2019	Artigo (A4)	Uma aplicação de campos conceituais no ensino interdisciplinar de Astronomia na Física e na Matemática no Ensino Médio.
6	Martins e Santos	2019	Artigo (A5)	Ensino de radiação térmica associada ao efeito estufa na perspectiva da TCC de Vergnaud.
7	Araújo	2019	Dissertação (D6)	Implementação de metodologias ativas: aprendizagens baseada em projetos em aulas de Física sobre acústica no ensino médio à luz dos Campos Conceituais.
8	Rocha e Catarino	2019	Artigo (A7)	Kit experimental para o ensino do eletromagnetismo: uma proposta de produto educacional.

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Através dos trabalhos analisados, podemos observar que no A1, Silva e Sousa (2014) observaram em seus resultados, evidências significativas da evolução conceitual, onde promoveram estratégias de ensino como atividades experimentais interativas para os tópicos da luz (óptica), usando a TCC de Vergnaud como um dos pontos teóricos para então, criarem condições favoráveis à evolução conceitual dos discentes.

Festa (2015) elaborou um conjunto de situações para uma abordagem mais fenomenológica e conceitual do tema da Supercondutividade como foco para introdução das aulas de Física Moderna. Em seus resultados sobre a TCC o autor destaca que:

> A teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, mostrou-se bastante apropriada para o desenvolvimento do tema, pois contribui para despertar no professor uma nova visão de como ensinar, promovendo e visando situações em sala de aula que deem sentido aos conceitos a serem trabalhados.
> As situações colocadas para os alunos fizeram com que estes se sentissem desafiados e integrados a eles, conduzindo-os à necessidade de explica-las e resolvê-las, levando-os à apropriação do conhecimento. (*ibid*., p. 108)

Já no A3, Calheiro e Pino (2017) fizeram um levantamento de possíveis invariantes operatórios trabalhando com diferentes situações problemas no campo conceitual da radiação eletromagnética. Os autores observaram que as diferentes situações enfrentadas pelos discentes, ajudaram a compreender melhor o campo conceitual estudado. Apontaram também para importância dos professores conhecerem os invariantes operatórios de seus alunos, a fim de facilitar a elaboração de novas situações.

Consequentemente, no A4, Silva, et al. (2017) também abordam o conjunto de situações da teoria de Vergnaud, para nortear a busca por melhores materiais dentro do campo conceitual abordado, buscando a compreensão de conceitos sobre a "propagação de calor e fechamentos (opacos e transparentes)" que são conteúdos interdisciplinares de Física e Edificações para a construção de um forno solar. Com relação a teoria conceitual, os pesquisadores observaram indícios de aprendizagem de conceitos abordados.

Em outro trabalho interdisciplinar, o A5, Santos et al. (2019) trabalharam conteúdos de física e matemática ligados a astronomia, através de distintos conceitos, esquemas e representações, auxiliando no desenvolvimento do campo conceitual dos estudantes frente as situações aplicadas. Essa abordagem adotada pelos autores é regida pela teoria dos campos conceituais, que de acordo com Plaisance e Vergnaud:

> É inútil estudar a formação de um só conceito, de um só esquema, ou de uma só representação, uma vez que o desenvolvimento cognitivo, pelo aprendizado e pela experiência, diz respeito a uma grande variedade de situações, de esquemas, de conceitos e de formas de representação. (2003, p. 77)

Sendo assim, essa variedade de situações são essenciais para engrandecer os esquemas dos alunos, pois de acordo com Calheiro e Pino (2017) um conceito só é significativo quando se variam as situações, apresentando inúmeras estratégias de ensino para que o sujeito crie seus esquemas e suas próprias ações e organizações (*apud*. MOREIRA, 2011).

Nessa mesma perspectiva, no trabalho A6, Martins e Santos (2019) abordaram o estudo da radiação térmica associado ao efeito estufa, aplicando a conjuntos de situações como: as experimentações aplicadas e as análises da relação dos conceitos com o cotidiano do aluno. Essas situações foram essenciais para o desenvolvimento conceitual dos discentes frente aos conceitos físicos estudados, como mostrou os resultados apresentados pelos autores.

Para discutir conceitos relacionados a Acústica, Araújo (2019) na sua pesquisa D7, propôs a construção de uma sequência didática para abordar as situações-problema e a análise de conhecimentos prévios. Em umas das situações aplicadas, os alunos construíram um instrumento musical que serviu para a observação, por parte do professor, dos conhecimentos e construção dos conceitos cientificamente aceitos. Os resultados evidenciaram o aproveitamento dos estudantes na compreensão do campo conceitual abordado de forma relevante e demonstra ainda a eficácia da abordagem, frente a evolução de conceito dos alunos.

Em um outro trabalho, com o objetivo de analisar a aplicação de uma proposta de ensino do Eletromagnetismo baseada a utilização de experimentos de baixo custo, Rocha e Catarino (2019), em sua pesquisa A8, elaboraram um kit experimental e uma sequência didática para possibilitar a exploração do conceito de esquema da teoria de Vergnaud, oportunizando alunos, que são sujeitos-em-ação a manipulação dos experimentos propostos e as atividades, a externar seus invariantes operatórios através da mediação dos professores no processo da abordagem conceitual. Como resultado, os autores destacaram que a aplicação da TCC frente ao produto educacional construído facilitou na mediação dos conceitos científicos abordados com vistas a pontuar suas dificuldades e progressões na aprendizagem.

Logo, levando-se em conta o que foi observado, os trabalhos citados, evidenciam a eficácia da teoria conceitual de Vergnaud, frente aos diferentes campos conceituais da Física. De acordo com Silva e Sousa (2014 *apud*. MOREIRA, 2002), aponta que:

> ...essa teoria está sendo utilizada no estudo sobre aprendizagem dos conceitos físicos, e tem se mostrado útil na melhoria da aprendizagem, na identificação de dificuldades de aprendizagem de tais conceitos e na seleção de situações instrucionais que possam ajudar na progressiva superação dessas dificuldades.

Nesse sentido, com base nas análises abordadas da eficácia da teoria para análise das estratégias cognitivas, a pesquisa aqui descrita, buscou desenvolver estratégias e situações-problema para os discentes no contexto do Campo Conceitual das Leis de Kepler. Especificamente, objetivando obter possíveis invariantes operatórios a partir das situações trabalhadas que puderam evidenciar neste processo por parte dos resultados, comparando-os com o conhecimento cientificamente aceito.

Entre outros aspectos, as Leis de Kepler constituem-se em um Campo Conceitual que de acordo com Moreira (2002, p. 23) “apresenta um conjunto de situações cujo a compreensão requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas”. Como o campo conceitual trabalhado é pautado em três leis distintas é necessário desenvolver diferentes situações para serem melhor compreendidas conforme suas definições.

4.1 Explicando os procedimentos metodológicos da pesquisa

O trabalho aqui proposto é um documento que efetiva uma experiência vivenciada na Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e aplicada na escola pública C. E. Professor Barjonas Lobão em uma turma do 1° ano do ensino médio, na cidade de São Luís – MA no bairro do Cohatrac.

A turma em questão é composta por 30 (trinta) alunos, sendo 18 (dezoito) homens e 12 (doze) mulheres, com idades compreendidas entre 15 (quinze) e 16 (dezesseis) anos. Uma boa parte dos alunos moram em bairros próximos da escola, enquanto outros, em bairros mais distantes. Maioritariamente, os alunos convivem com suas famílias, há também alunos que trabalham em outros turnos.

Foi observado também que a turma integra alunos com algumas dificuldades de aprendizagem e repetentes. Importante também falar que desses alunos com dificuldade de aprendizagem, um aluno apresenta necessidades educativas especiais, porém até o momento de aplicação deste projeto, sem ainda um diagnóstico pré-estabelecido, o mesmo sofre de problemas de concentração e interação social. Desta forma, buscamos também focar a atenção nas necessidades individuais destes alunos e auxiliá-los de forma mais peculiar durante todo o processo de aplicação do produto.

A aplicação do produto educacional contou com amostragens e procedimentos no processo de ensino aprendizagem no estudo de Física, apresentando uma intervenção de conceitos básicos das Leis de Kepler com as seguintes questões: Como ocorrem esses fenômenos planetários? Quais as leis e suas contribuições? Quais conteúdos de Física podem ser observados no processo da formação do sistema solar?

Tais problemáticas foram desenvolvidas neste trabalho através da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, que como vimos nos tópicos anteriores, destaca que o conceito é um tripleto formado por: Conjunto de Situações (S); Invariantes Operatórios (I); Representações Simbólicas (R).

A conceitualização, segundo Vergnaud, constitui o núcleo do desenvolvimento cognitivo, sendo um processo lento, também direta e fortemente influenciado pela vivência do sujeito que aprende, por suas experiências, sua maturidade etc. Neste processo, o aprendiz cria relações, representações, atribuindo significados e conceitos à medida que é confrontado a situações concretas que está vivendo.

Para conseguir generalizar e enriquecer o significado de um conceito é fundamental que o aluno experimente diversas e novas situações nas quais são relevantes para resolvê-las, ou seja, situações em que "o conceito" pode ser empregado de diferentes maneiras.

Nesta perspectiva, o trabalho aqui proposto teve como foco abranger essas "vivências de situações cotidianas", através, inicialmente da construção de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para a aplicação dos momentos pedagógicos que são constituídos por: aulas, atividades demonstrativas, apresentações de maquetes, mapas conceituais e oficinas de *lapbook*. Para que consequentemente, a essência do conceito e o aprimoramento do mesmo, fosse captado pelo discente de forma substancial.

4.2 Construção da Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

Os procedimentos metodológicos foram aplicados através da Sequência de Ensino Investigativa, baseada nos estudos de Carvalho (1998) e Nascimento (2016) à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (que têm como foco as situações para dar sentido aos conceitos científicos) pelo professor aos alunos, levando em consideração a Proposta Curricular, o perfil e a realidade em que a escola está inserida. Apontamos que o tema em estudo é uma proposta que pode ser reorganizada conforme a realidade dos educandos e outros conhecimentos relevantes e significativos de acordo com a aprendizagem esperada das teorias

científicas físicas no dia a dia do aluno, utilizando a problematização no contexto da prática social, tais apontadas aqui abaixo:

A) Como ocorrem as três leis de Kepler;

B) Propor questionamentos que tenham como foco: As leis de Kepler;

C) Aplicação de uma maquete para compreender a utilização das leis.

D) Aulas práticas, com visitas técnicas e estudos dirigidos com situações-problema considerando os valores e atitudes de cada um.

Entretanto, a elaboração e aplicação desta SEI, que é definida por Carvalho (2018, p. 765) como "uma proposta didática que tem por finalidade desenvolver conteúdos ou temas científicos". Justificando a utilização desta importante metodologia que visa levar o aluno a ingressar no campo conceitual referente ao conteúdo estruturante – Leis de Kepler, acessando lentamente, as situações (que para a SEI são as diferentes atividades investigativas) que lhe são apresentadas. Tal metodologia também propõe ao discente pôr em ação seus esquemas e os conhecimentos formados por teoremas e conceitos contidos nos mesmos, para então interagir com essas situações no intuito de resolvê-las, concretizando assim o fim da aprendizagem.

Diante disso, afirma-se o papel do professor nessa fase de aprendizagem que segundo Moreira (2002) é de um mediador no longo processo de domínio de um campo conceitual e sua principal tarefa consiste em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações, oferecendo-lhe, para isso, situações que favoreçam este desenvolvimento. Tendo em vista que, não é com apenas uma situação ou um conjunto de situações semelhantes que o sujeito logrará um bom desenvolvimento cognitivo e sim durante a realização de tarefas que lhe exijam comportamento ativo de exploração, experimentação dentre outros, com o objetivo de encontrar uma resposta ou solução. Com isso, também vai fazendo relações entre diferentes conceitos, abrangendo diferentes contexto e ao fazer isso, estará se desenvolvendo cognitivamente.

Levando esses aspectos em consideração, a seguir veremos a organização da análise dos resultados dessa SEI e os momentos pedagógicos trabalhados.

4.2.1 A Taxonomia SOLO como método de análise da SEI

No processo de aplicação da SEI, foi utilizado para a análise das respostas dos alunos, através de todos os trabalhos desenvolvidos, a Taxonomia SOLO (*Structure of Observing Learning Outcome*) que é uma teoria desenvolvida por Biggs e Collis (1982) que admite a existência de estágios de desenvolvimento cognitivo (caracterizados pelos autores

como “modos de pensamento”) que, assim como na teoria piagetiana, surgem em idades aproximadamente definidas, porém, esses estágios não são gerais, mas específicos para cada domínio de conhecimento (PEREIRA, 2019).

Com isso, os autores concebem que um mesmo aprendiz pode trabalhar em vários estágios ou modos simultaneamente, justificando o fato da teoria relacionar-se a um sistema de categorias para identificar patamares de formalização do pensamento, avaliando a qualidade assim como também a quantidade de aprendizagem e informações processadas.

Diante disso, os autores introduziram novos pressupostos ligados a possibilidade de identificar níveis hierárquicos de complexidade do entendimento sobre conteúdos de diferentes domínios, a partir de instrumentos desenvolvidos com esse objetivo, que são: pré-estrutural, uniestrutural, multiestrutural, relacional e abstrato estendido. Tais níveis podem ser descritos de forma abstrata, genérica e relativamente a uma tarefa cognitiva que exija um modo específico de funcionamento (BIGGS e COLLIS, 1982, 1991).

A Taxonomia SOLO tem sido usada por professores devido ao fornecimento sistemático e coerente para identificação de formas de pensamento em tarefas realizadas por alunos, capacitando-os assim a enriquecer e aumentar sua aprendizagem profunda (AMANTES, 2009).

Neste trabalho, utilizamos a Taxonomia SOLO para avaliar o entendimento que os estudantes demonstraram aos conceitos relacionados às Leis de Kepler, juntamente com a análise de seus invariantes operatórios (teoremas e conceitos) apresentados, categorizando os itens de atividades desenvolvidas em todas as etapas da aplicação do produto de acordo com o tipo de conhecimento que é solicitado em cada resposta desenvolvida pelos discentes. Essa identificação nos itens está de acordo com a característica de cada nível de complexidade de domínio da teoria, que o aluno vai retirar do tema em questão. Tais níveis estão descritos no quadro abaixo:

Quadro 2 - Descrição dos níveis taxonômicos.

Níveis taxonômicos	**Conceitos**
Pré-estrutural (P)	As respostas explicitadas são inadequadas. O aluno elabora a resposta em um nível aquém do que o solicitado na questão, sem demonstrar capacidade para focar no essencial e eliminar aspetos irrelevantes. E com isso, o aluno não reconhece e não consegue resolver o item.
Uniestrutural (U)	O foco do item é correto, mas o aluno convoca ou dispõe de poucas informações no processo de resolução das resposta e do uso de dados, tornando-os inconsistentes.

Multiestrutural (M)	O aluno desenvolve corretamente a relevância da informação requerida para sua resposta apresentando assim vários aspectos relevantes. Porém, tais informações não se integram totalmente, e com isso, algumas inconsistências podem aparecer.
Relacional (R)	As informações são corretamente percebidas e acessadas, os dados são avaliados e as relações são estabelecidas. O todo se torna uma estrutura coerente com relação aos dados invocados e, com isso, não há inconsistências. Porém, tais respostas não demonstram uma visão global do conhecimento que está envolvido.
Abstrato estendido (A)	O aluno neste nível demonstra a capacidade para adaptar a informação a conceitos gerais capaz de convocar estruturas propostas para um novo quadro com características mais abstratas, representando um novo e elevado modo de operação. A resposta desse nível demonstra uma consistência global capaz de estabelecer princípios aplicáveis a qualquer contexto.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Diante das descrições feitas para cada nível de complexidade da Taxonomia SOLO, iremos utilizá-los para a análise das respostas dos alunos nas atividades, mapas conceituais, *lapbooks* e questionários aplicados durante o processo de trabalho do produto educacional, tais informações serão apresentadas abaixo em forma de gráfico e tabela.

4.2.2 Etapas e objetivos dos momentos pedagógicos

No processo de aplicação do Produto Educacional tivemos a elaboração e o desenvolvimento de aulas com atividades, construção de mapas conceituais, oficinas de construção de *Lapbook*. Tudo sobre a assessoria do professor titular da sala de aula onde foram aplicados todo o trabalho. Para a elaboração das atividades e oficina foram disponibilizados todos os materiais utilizados pelos alunos e tudo foi registrado com fotografias, através de anotações, assim como todos os registros produzidos pelos mesmos foram objetos de análise e interpretação.

Todas as aulas trabalhadas foram desenvolvidas na SEI, tendo por base as 5 (cinco) etapas demonstradas no trabalho de Carvalho (1998), que neste trabalho chamaremos de Momentos Pedagógicos (M.P). Com isso, no **Quadro 3** podemos ver como esses momentos pedagógicos foram planejados de acordo com as aulas ministradas e com a proposta metodológica utilizada.

Quadro 3- Etapas dos Momentos Pedagógicos por base na proposta de Carvalho (1998) e Nascimento (2016).

Momentos Pedagógicos	**Tarefas**	**Síntese descritiva**
Primeiro Momento Pedagógico	Questionário 1- Atividade diagnóstica	Apresentação do projeto a ser desenvolvido com os alunos, aplicação de uma atividade diagnóstica como método de sondagem dos conhecimentos prévios, que servirá como base para o desenvolvimento da experimentação - *Apresentação do material e problematização*.
Segundo Momento Pedagógico	Aula 1 a 4	Neste momento pedagógico utilizamos as *estratégias da experimentação* e a *busca por responder o "como" e o "porquê"* através do desenvolvimento das aulas, estudo de conceitos, aplicação de atividades demonstrativas relacionadas ao tema trabalhado, e da apresentação de maquetes para finalizar e auxiliar na concretização de conceitos trabalhados. Além da sistematização coletiva que possibilita levar os alunos a discutirem sobre os eventos e fenômenos observados sobre o tema proposto.
Terceiro Momento Pedagógico	Aula 5	Nesses dois momentos pedagógicos, foi trabalhado a *sistematização conceitual*, que está relacionada com a apresentação de conceitos por meio de estratégias didáticas que são: a aplicação da construção de um Mapa Conceitual das Leis de Kepler e a Oficina de *Lapbook* em que foi desenvolvido um *lapbook* sobre conceitos das Leis de Kepler.
Quarto Momento Pedagógico	Aula 6 e 7	
Quinto Momento Pedagógico	Questionário Final	Aplicação do questionário para a *avaliação* dos conceitos trabalhados sobre as Leis de Kepler.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nos próximos tópicos apresentaremos as metodologias e resultados de cada momento pedagógico trabalhado, bem como a visão teórica dos campos conceituais de Vergnaud e suas devidas análises.

4.3 Primeiro momento pedagógico

O primeiro momento pedagógico é constituído de análise diagnóstica, onde na primeira aula, foram apresentados inicialmente para 24 (vinte e quatro) alunos presentes (embora tivessem matriculados 30 (trinta) alunos) todo o projeto desde o conteúdo central "As Leis de Kepler", as atividades que os alunos iriam produzir sobre esse conteúdo, mapas conceituais e pôr fim a oficina da construção do *lapbook* como uma proposta de avaliação.

É importante frisar que inicialmente o objetivo deste trabalho era abordar todo o tópico da Gravitação Universal que engloba as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton, mas durante a aplicação do produto educacional tivemos muitas dificuldades com relação ao tempo de aplicação para a entrega de resultados, devido as diversas situações trabalhadas para cada campo conceitual. Do mais, obtivemos resultados pertinentes para o campo conceitual das Leis de Kepler que foi suficiente para validar a importância do referencial teórico desenvolvido. Com isso, a atividade aplicada, que era uma avaliação informal, diagnóstica e investigativa, era composta de duas partes, sendo a primeira formadas por questões objetivas retiradas do trabalho de Hoffmann (2013), e se encontra no Anexo 1, que avaliava conhecimentos prévios relacionados ao conteúdo geral da Gravitação Universal, obtendo apenas a questão 6 (seis) referente ao tópico das leis de Kepler, porém esse único questionamento teve uma valorização imprescindível como instrumento para verificar e validar, juntamente com as outras questões, as diversas maneiras do discente evidenciar os conceitos prévios existentes.

A segunda parte da avaliação era composta de uma questão em que os alunos iriam construir um desenho prático de como eles imaginam ser o sistema solar, a fim de então buscar e abordar dentro dessa realidade uma aprendizagem significativa conceitualmente, procedimentalmente, ligando a como se deve proceder para a formação dos mesmos.

De acordo com Astolfi e Lopes Junior (2015) esses novos conhecimentos trabalhados pelo professor em sala de aula relacionam-se com o conhecimento que o estudante traz consigo; de experiências anteriores. Juntos eles formam uma estrutura de conhecimento que faz sentido ao estudante. Vergnaud (1996) aponta que a teoria dos campos conceituais destaca que a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e que esse conhecimento tem, portanto, muitas características contextuais. Assim, muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las.

Na análise dos resultados, avaliamos os alunos através de quatro níveis de aprendizagem que são apresentados abaixo:

Quadro 4 - Níveis de avaliação de aprendizagem utilizados na atividade.

LEGENDA DA ESCALA DE APRENDIZAGEM		
NIVEL – I	INSUFICIENTE	Os alunos neste nível precisam melhorar a: leitura e interpretação de texto científico e tecnológico. O discente neste nível não possui nenhum conhecimento prévio sobre o tema.
NIVEL – II	BÁSICO (REGULAR)	Os alunos neste nível ler e produz, porém tem a dificuldade de concretizar e analisar as informação informações objetivamente no contexto. O discente neste nível poderia ter vestígios de conhecimento prévio sobre o tema.
NIVEL – III	BOM	Os alunos neste nível ler, produz, analisa as situações impostas, porém, não concretiza as informações relacionando a teoria com a prática. Neste nível o discente possui certo conhecimento prévio sobre o tema, mas não eleva o conhecimento concreto para o abstrato.
NIVEL – IV	MUITO BOM	Os alunos neste nível, já traz uma apropriação de linguagem acessível sobre o tema e relaciona significativamente a teoria com a prática, possuindo competências de relacionar o conhecimento científico tecnológico. O discente neste nível possui certo conhecimento prévio sobre o tema.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os níveis de aprendizagem são baseados através da realidade da escola de vivência dos alunos, das porcentagens de acertos, erros envolvidos nas questões objetivas e na questão discursiva aplicadas.

Ao analisarmos o processo de aprendizagem, tentamos identificar os conhecimentos prévios dos discentes a fim de estimulá-los para que pudessem assimilar o novo conhecimento de forma mais significativa, também procuramos observar a ocorrência de relacionar já nessa fase a relação de estruturação de possíveis esquemas, como também, a ocorrência dos diferentes tipos de aprendizagem.

A **Tabela 2** abaixo, apresenta a relação de resultados utilizada na planilha de avaliação do questionário 1(um) das questões objetivas de 1(um) a 6(seis).

Tabela 2 - Planilha de apuração de dados após a aplicação da avaliação.

QUESTÕES/ ALTERNATIVAS	NÚMERO DE MARCAÇÕES						NÚMERO DE MARCAÇÕES (%)						NÍVEL DE APRENDIZAGEM	GABARITO
	A	B	C	D	NULA[8]	TOTAL	A	B	C	D	NULA	TOTAL		
1	1	**19**	4	-	-	24	4%	**80%**	16%	-	-	100%	**IV**	**B**
2	3	**13**	1	5	2	24	12%	**54%**	4%	21%	9%	100%	**III**	**B**
3	**10**	9	3	2	-	24	**42%**	37%	13%	8%	-	100%	**II**	**A**
4	1	2	**19**	2	-	24	4%	8%	**80%**	8%	-	100%	**IV**	**C**
5	-	4	13	**7**	-	24	-	17%	54%	**29%**	-	100%	**I**	**D**
6	5	**10**	7	2	-	24	21%	**42%**	29%	8%	-	100%	**II**	**B**

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Legenda:

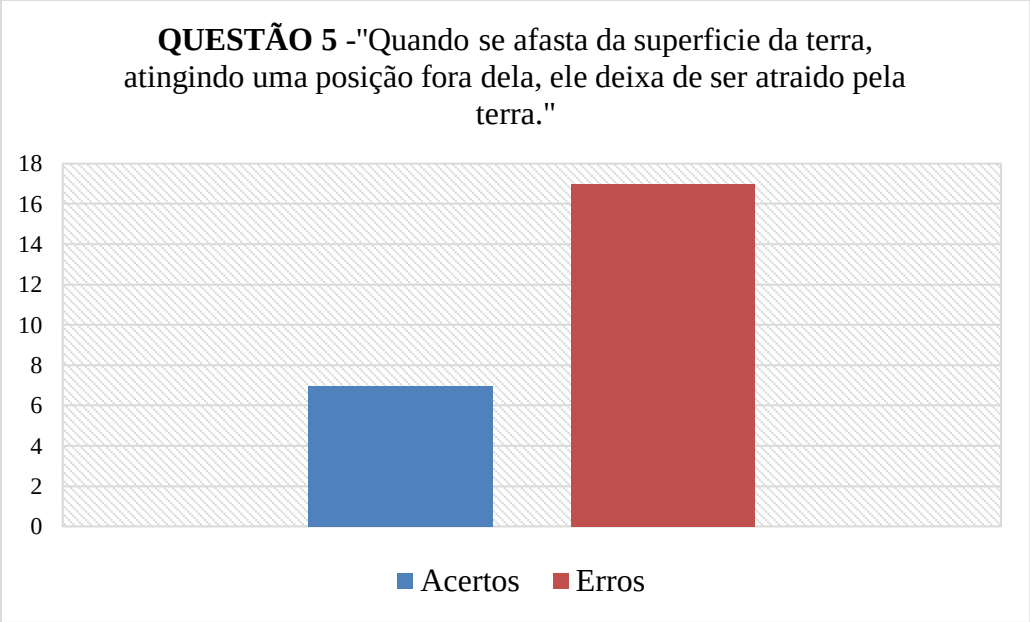
- Nível Insuficiente
- Nível Básico (Regular)
- Nível Bom
- Nível Muito Bom

[8] Nula refere-se a alternativa não marcada pelos alunos.

As análises a seguir serão feitas de acordo com a ordem dos níveis de aprendizagem do Quadro 3 (três) e de acordo com a tabela acima.

Começando com a questão 5 (cinco) que apresenta os seguintes dados: não houve marcação para a alternativa A; 4 (quatro) alunos (17%) a letra B; 13 (treze) alunos (54%) a letra C; 7 (sete) alunos (29%) que marcaram a letra D (alternativa correta da questão). Com isso, observando o gráfico abaixo, podemos concluir que 71%, 17 alunos da turma, marcaram alternativas erradas, não possuem nenhum conhecimento prévio sobre o tema o que dificultou a interpretação da questão frente aos conceitos científicos abordados. Logo, de acordo com a realidade analisada consideramos que o nível da turma é Insuficiente (Nível I).

Gráfico 1 - Resultado geral da turma referente a questão 5.

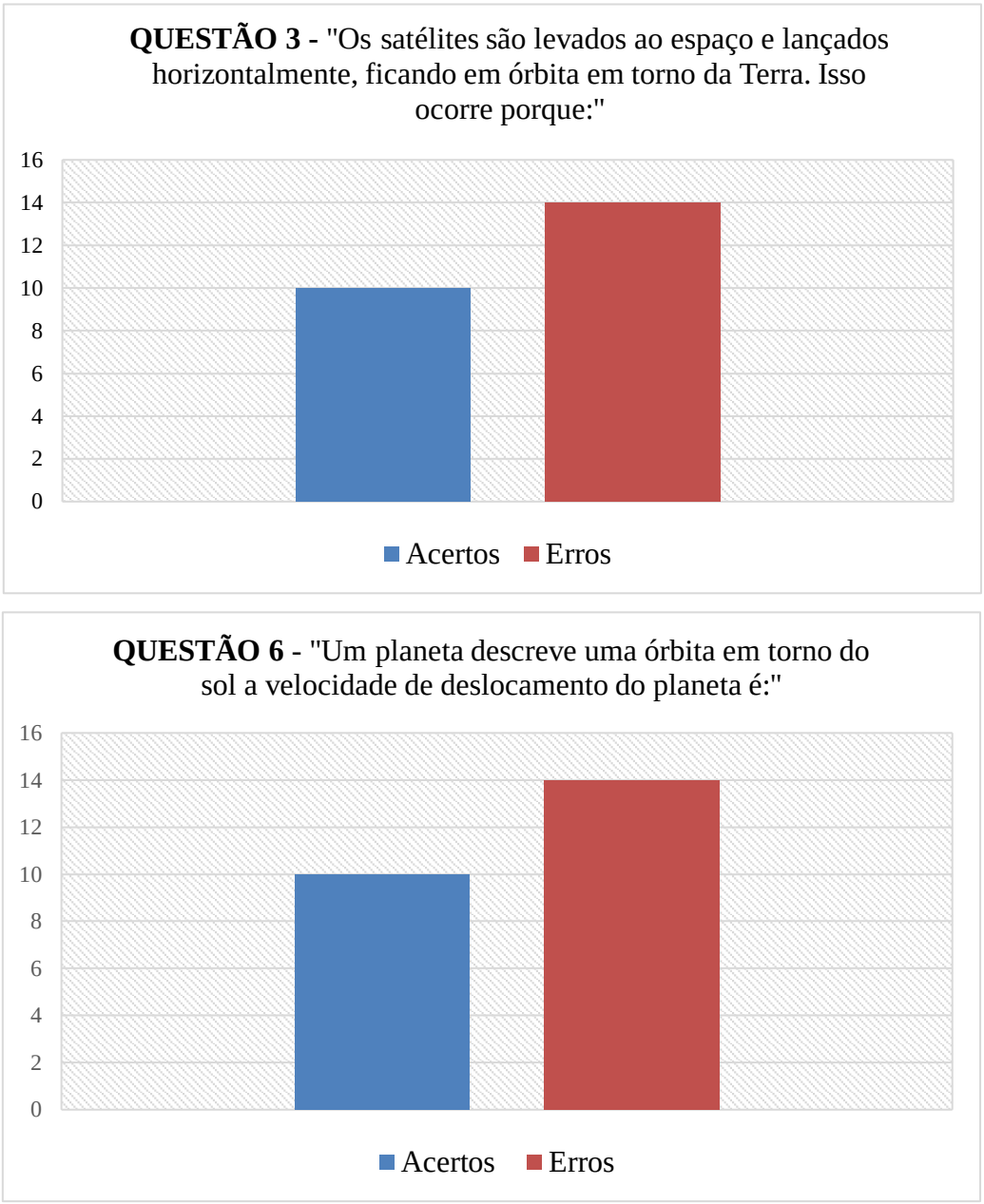


Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Já nas perguntas 3 e 6, tivemos as seguintes análises referente as marcações feitas pelos alunos: questão 3 – 10 (dez) alunos (43%) a letra A (que é a alternativa correta), 9 (nove) alunos (39%) a letra B, 3 (três) alunos (13%) a letra C e 2 (dois) alunos (5%) a letra D; questão 6 – 5(cinco) alunos (22%) a letra A, 10 (dez) alunos (43%) a letra B (que é a alternativa correta), 7 (sete) alunos (30%) a letra C e 2 (dois) alunos (5%) a letra D. Diante desses dados, observamos que tanto na questão 3 quanto na 6, 14 (quatorze) alunos da turma (57%) marcaram alternativas incorretas, não conseguindo analisar e concretizar as informações necessárias para responder com êxito a questão. Em

um abordagem geral para as perguntas, como mostra o próximo gráfico. Analisando o desenvolvimento da turma, concluímos que os discentes se encontram no nível básico ou regular (Nível II), havendo um conhecimento parcial sobre o conteúdo a ser trabalhado.

Gráfico 2 - Resultado geral da turma referente as questões 3 e 6.



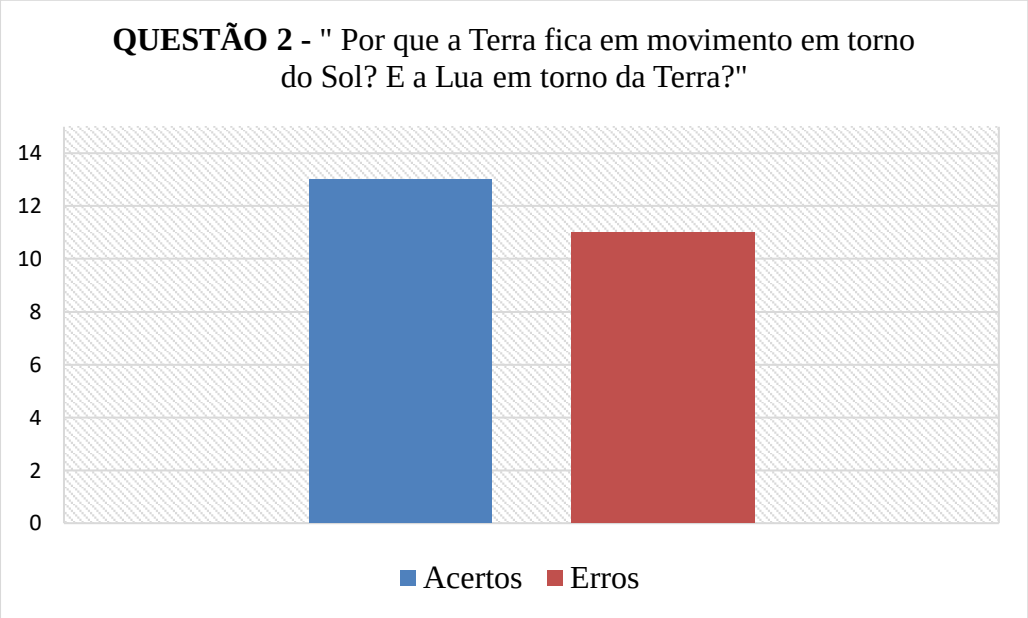
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na questão 2, as análises feitas apontam os seguintes dados: 3 (três) alunos (13%) marcaram a letra A; 13 (treze) alunos (54%) a alternativa B, que é a correta; 1(um) aluno (4%) a alternativa C; 5(cinco) alunos (21%) escolheram a letra D; 2 (dois) alunos não marcaram nenhuma das afirmativas (NULA). Logo, foi observado que 11(onze)

alunos (46%) escolheram alternativas erradas ou não marcaram alternativas, demonstrando certa dificuldade de elevar o conhecimento do concreto para o abstrato.

Através do **Gráfico 3**, analisando a turma diante da pergunta foi observado também que os discentes se encontram em um nível bom (Nível III) de conhecimento prévio sobre o tema, apenas possuindo uma certa dificuldade em concretizar essas informações já trazidas em sua bagagem de conhecimento.

Gráfico 3 -Resultado geral da turma referente a questão 2.

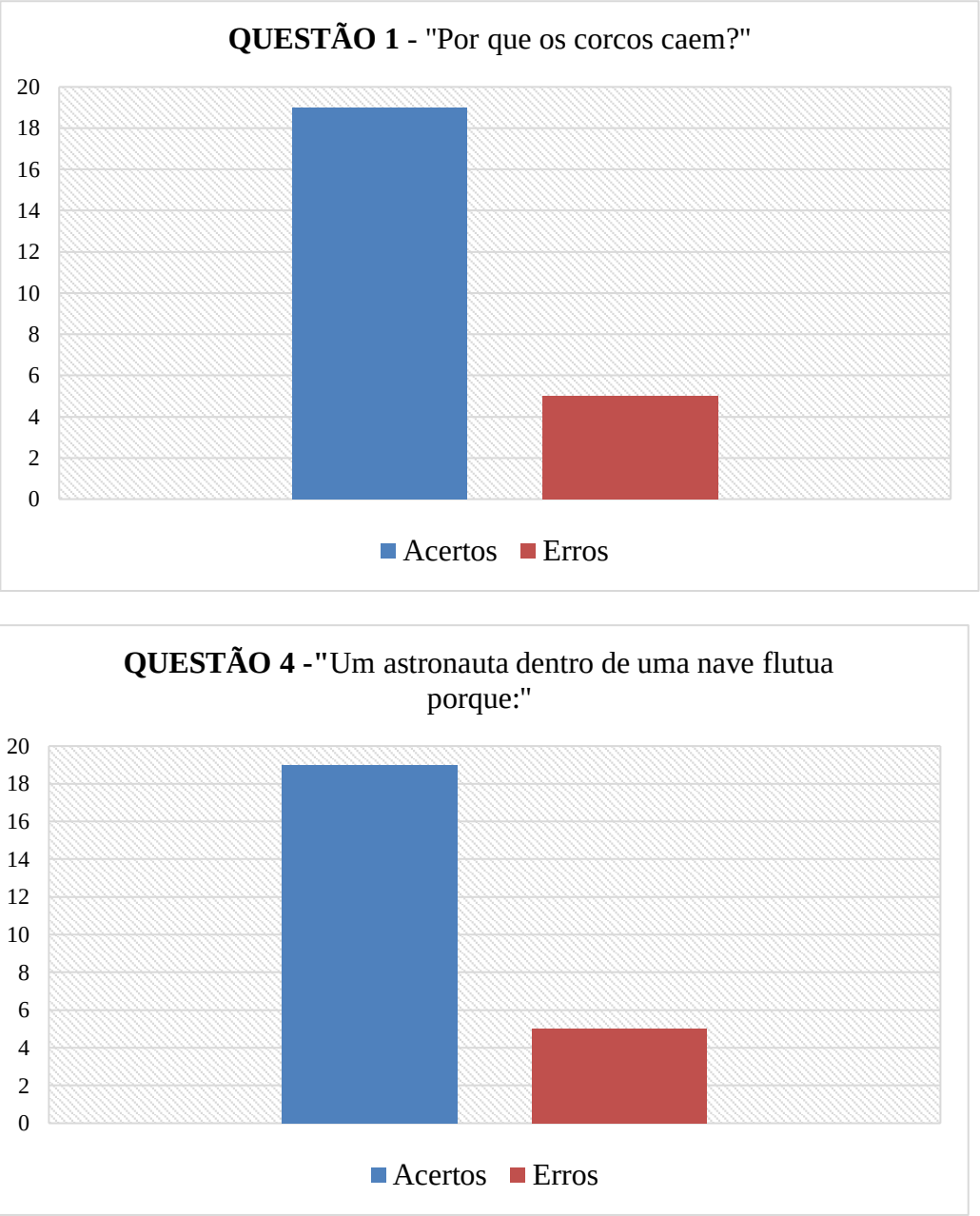


Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

E por fim, as perguntas 1 e 4 onde os resultados obtidos de acordo com as marcações dos discentes, foram: questão 1 – 1(um) aluno (4%) a letra A, 19 (dezenove) alunos (79%) a letra B (alternativa correta), 4(quatro) alunos (17%) a letra C e nenhum aluno marcou a alternativa D; questão 4 – 1(um) aluno (4%) a letra A, 2(dois) alunos (8%) a letra B, 19(dezenove) alunos a letra C e 2(dois) alunos (9%) a letra D. Consequentemente, através desses dados 5(cinco) alunos (21%) não conseguiram marcar a alternativa correta, por não obter conhecimentos prévios necessários para a análise e concretização da informação. Os outros 79% possuíram competências suficientes para relacionar o conhecimento cientifico e tecnológico abordados nos questionamentos.

Diante dos gráficos abaixo para as questões 1 e 4, foi observado que a turma se encontra no Nível IV – Muito Bom de aprendizagem.

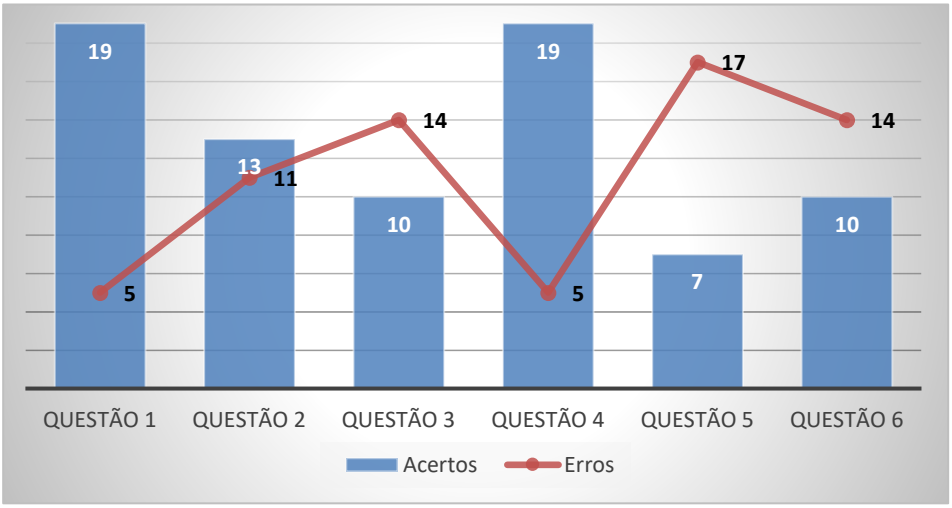
Gráfico 4 - Resultado geral da turma referente as questões 1 e 4.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Ao analisarmos o desenvolvimento dessa avaliação no sentido geral de acertos e erros de todas as questões, como mostra o gráfico abaixo, percebemos que a turma encontra-se no Nível III - Bom, pois, diante desta realidade da vivência escolar dos discentes notamos que os mesmos possuem um certo conhecimento prévio sobre o tema da Gravitação e Leis de Kepler, tendo apenas dificuldade para concretizar suas informações relacionando teoria e prática.

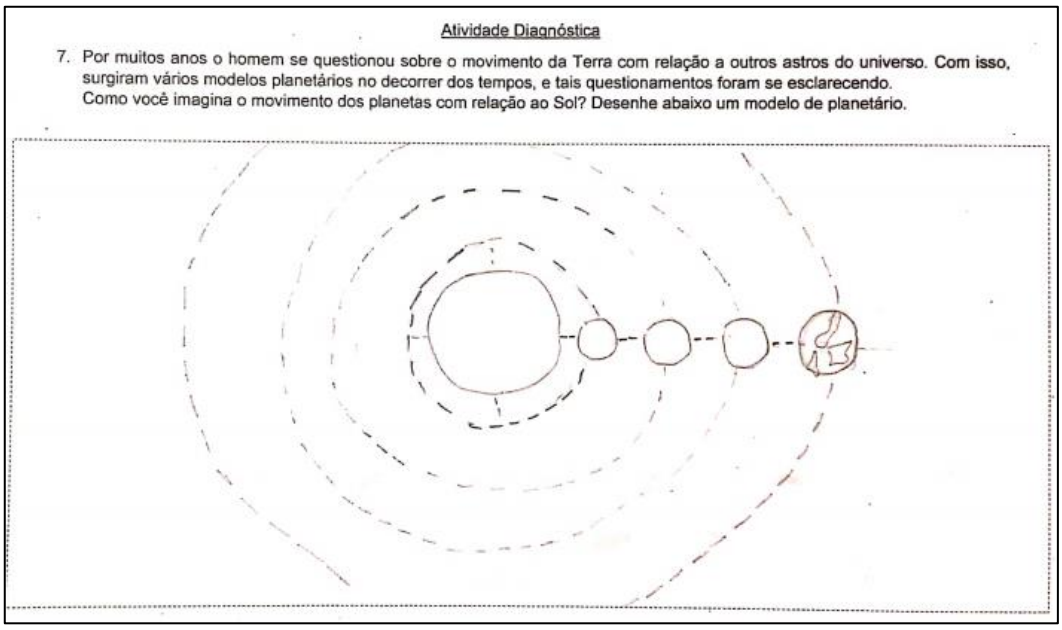
Gráfico 5 - Análise dos níveis de aprendizagem dos alunos na avaliação 1 (diagnóstica).



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A próxima questão a ser analisada é a 7°, que era um desenho prático a ser desenvolvido pelos discentes com o objetivo de avaliar qual a visão que o mesmo possuía do modelo do sistema solar para que diante dessa prática pudéssemos buscar possíveis intervenções ao longo das aulas caso fosse necessário, pois é relevante lembrar que essa análise feita inicialmente é a diagnóstica. A ficha de aplicação se encontra no Apêndice A.

Figura 19 - Atividade diagnóstica discursiva.


Atividade Diagnóstica

7. Por muitos anos o homem se questionou sobre o movimento da Terra com relação a outros astros do universo. Com isso, surgiram vários modelos planetários no decorrer dos tempos, e tais questionamentos foram se esclarecendo. Como você imagina o movimento dos planetas com relação ao Sol? Desenhe abaixo um modelo de planetário.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Em todos os desenhos apresentados pelos alunos, assim como o da figura acima, demonstraram que os mesmos possuem uma noção mínima da estrutura real do sistema solar, comprovando-se que existe um conhecimento prévio insuficiente com relação a esse ponto do conteúdo abordado, ou seja, de acordo com Moreira (2002, p.20) “O que tudo isso quer dizer é que é normal que os alunos apresentem tais concepções e que elas devem ser consideradas como precursoras de conceitos científicos a serem adquiridos. A ativação desses precursores é necessária e deve ser guiada pelo professor”. E com isso, faz-se necessário buscar intervenções específicas, que promovam a dissolução dessas dúvidas e dificuldades percebidas. Essas intervenções foram desenvolvidas durante as aulas com as aplicações de atividades que serviram de conjuntos de situações e representações em todo o processo de ensino. Nos próximos tópicos descreveremos essas aulas.

4.4 Segundo momento pedagógico

O segundo momento pedagógico é constituído de aulas e aplicação de atividades, a fim de desenvolver de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, conjuntos de situações (S) - a partir das aulas ministradas, representações (R) – com a apresentação das equações e demonstrações dos modelos esquemáticos das leis, o desenvolvimento das atividades e aplicação das maquetes, que irão servir de suporte para o desenvolvimento dos invariantes operatórios (I) e esquemas nos outros momentos pedagógicos trabalhados. É importante também enfatizar que para essas aulas e atividades aplicadas de 30 (trinta) alunos inscritos, 24 (vinte e quatro) alunos participaram de todo processo de ensino-aprendizagem.

4.4.1 Procedimentos e análises dos resultados das aulas aplicadas

A) Aula 1

Objetivando organizar o conhecimento com relação ao espaço e o tempo foi apresentado em duas aulas de forma expositiva e dialogada, um pouco da história com a aula intitulada “Antes de Kepler”, acerca do Geocentrismo e Heliocentrismo para então demonstrar a importância dos resultados obtidos pelas suas leis na época. Iniciamos a apresentação do tema mostrando diversas imagens de modelos de planetários para os alunos observarem e olharem qual o modelo era mais “correto”. Após a prática, os alunos

tiveram a liberdade para a exposição das opiniões afim de motivá-los e prepará-los para a formação de esquemas iniciais (primeiras impressões) sobre o conteúdo e depois de esgotada as manifestações, demonstrou-se os diversos modelos de planetários ao longo da história. Encerramos essa aula introduzindo o enunciado da 1ª Lei de Kepler.

B) Aula 2 e 3

Nas aulas 2 e 3, foram trabalhados os principais conceitos sobre a 1ª Lei de Kepler – Lei das Órbitas e a 2ª Lei de Kepler – Lei das Áreas, objetivando buscar enriquecer os conhecimentos de seus esquemas ou auxiliando-os a construir novos esquemas. Com isso, após as aulas os alunos formaram duplas para a aplicação das atividades complementares que foram adaptadas do Livro Manual de Astronomia (CANALLE; MATSSURA, 2012) e demonstrações desses fenômenos através das maquetes.

As análises dos resultados obtidos por meio das atividades aplicadas foram coletadas a partir das duplas formadas e podem ser descritas através da teoria dos campos conceituais, tais como: as situações apresentadas em cada atividade de acordo com a ordem das aulas sobre o tema; os invariantes operatórios apresentados pelos alunos no desenvolvimento das atividades; as representações demonstradas pelos alunos em suas respostas.

Para executar as atividades, foram cedidos materiais para os alunos descritos abaixo:

- Placa de papelão;
- Folha de papel A4;
- Folha de papel milimetrado;
- Barbante;
- Régua;
- Tachinhas;
- Lápis e borracha.
- Tesoura.

Figura 20 - Materiais para a Atividade 1 e 2 “Desenhando as órbitas dos planetas”.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A primeira atividade que se refere a Lei das órbitas foi realizada a partir dos dados do livro de Canalle e Matsuura (2012) onde foram utilizados os valores das excentricidades dos planetas como mostra a **Figura 21** abaixo, que foram passados para os discentes e os mesmos através desta atividade pudessem ter uma visão mais concreta dessas órbitas para complementarem os conceitos trabalhados nesse tópico. Com isso, buscamos também mostrar aos mesmos alguns erros cometidos nos livros didáticos sobre a excentricidade das órbitas em que as consideram muito mais excêntricas do que realmente são.

Figura 21 - Excentricidade das órbitas dos planetas.

Planeta	Excentricidade
Mercúrio	0,2
Vênus	0,007
Terra	0,02
Marte	0,09
Júpiter	0,05
Saturno	0,06
Urano	0,05
Netuno	0,009
Plutão	0,25

Fonte: (CANALLE; MATSUURA, 2012)

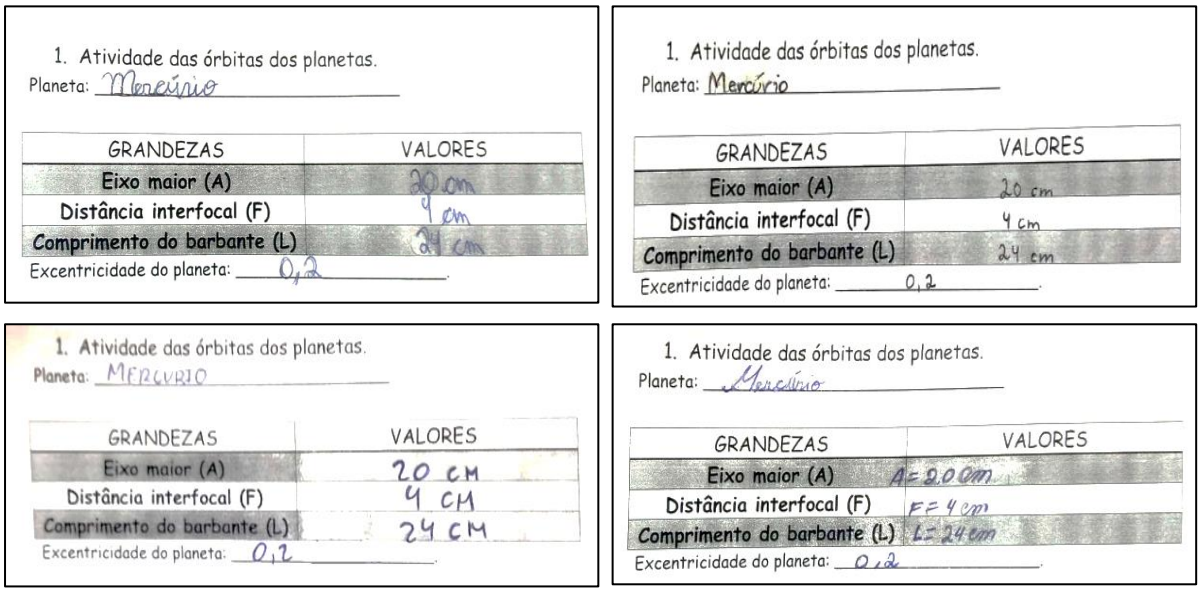
Os procedimentos para esta atividade se deram em duas etapas, conforme orientado pelos autores:

1) Na primeira etapa, o alunos usaram com os valores das excentricidades dos planetas e a distância do eixo maior (A), onde o valor adotado foi de A = 20 cm (que é um dado arbitrário), para encontrar as distâncias dos focos (F) e o comprimento do barbante (L). Veja abaixo as equações usadas pelos discentes foram:

$$F = e\,.A \quad \text{e} \quad L = F + A \qquad 4.1$$

Através dessas equações (4.1), temos que F = 4 cm e L = 24 cm, conforme a figura abaixo que apresenta os resultados dos alunos.

Figura 22 - Tabela preenchida pelos alunos com dados da órbita de Mercúrio.



1. Atividade das órbitas dos planetas.
Planeta: Mercúrio

GRANDEZAS	VALORES
Eixo maior (A)	20 cm
Distância interfocal (F)	4 cm
Comprimento do barbante (L)	24 cm

Excentricidade do planeta: 0,2.

1. Atividade das órbitas dos planetas.
Planeta: Mercúrio

GRANDEZAS	VALORES
Eixo maior (A)	20 cm
Distância interfocal (F)	4 cm
Comprimento do barbante (L)	24 cm

Excentricidade do planeta: 0,2.

1. Atividade das órbitas dos planetas.
Planeta: MERCURIO

GRANDEZAS	VALORES
Eixo maior (A)	20 CM
Distância interfocal (F)	4 CM
Comprimento do barbante (L)	24 CM

Excentricidade do planeta: 0,2.

1. Atividade das órbitas dos planetas.
Planeta: Mercúrio

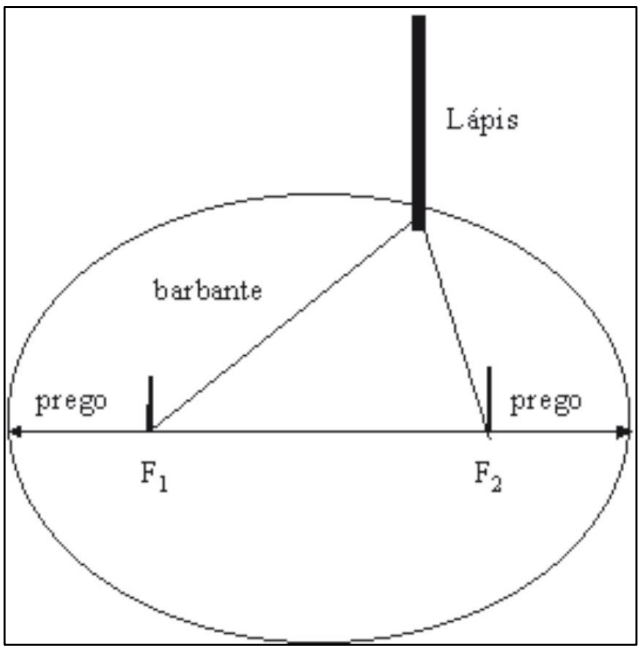
GRANDEZAS	VALORES
Eixo maior (A)	A=20cm
Distância interfocal (F)	F=4cm
Comprimento do barbante (L)	L=24cm

Excentricidade do planeta: 0,2.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

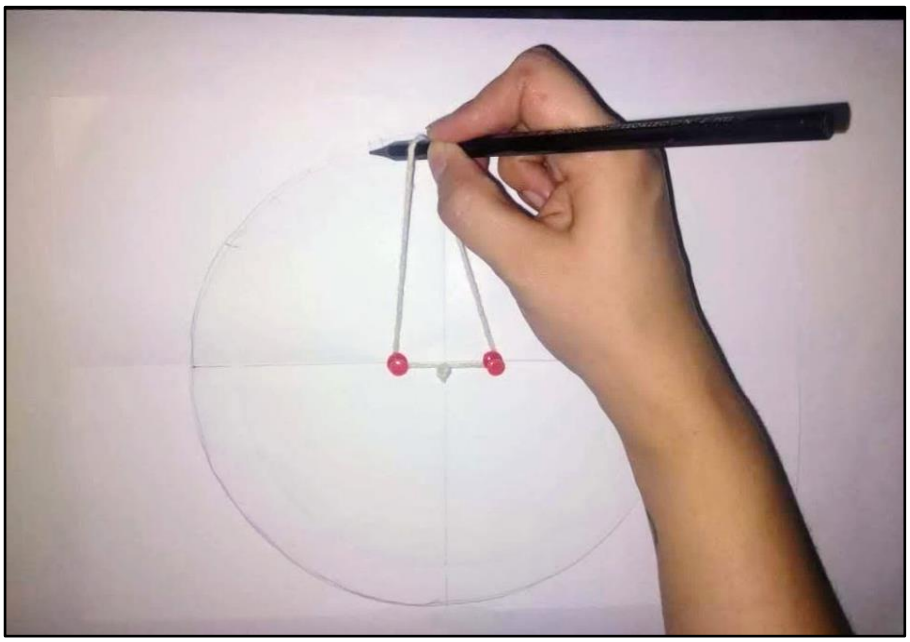
2) Na segunda etapa, tomando posse desses dados os alunos desenharam as órbitas através do "Método do Jardineiro" usando o barbante, lápis e as tachinhas, que são colocadas nos focos da elipse, conforme é observado imagem abaixo:

Figura 23 - Esquema do método do jardineiro para a construção de uma elipse.

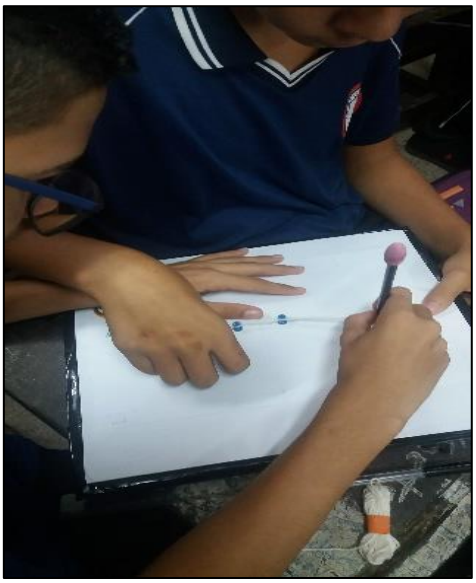


Fonte: (CANALLE; MATSUURA, 2012)

Figura 24 – (a) Demonstração da construção da elipse; (b) Alunos desenhando a órbita de Plutão pelo método do jardineiro.



(a)

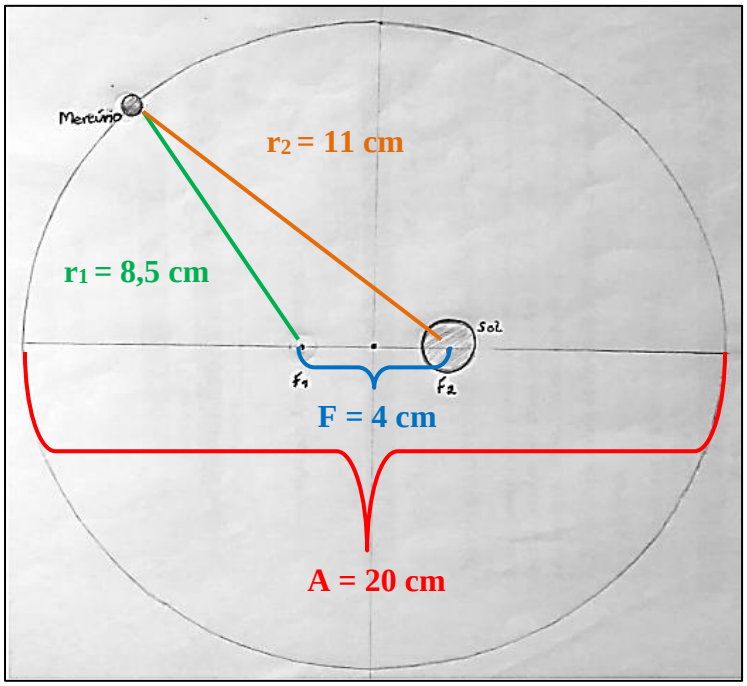


(b)

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

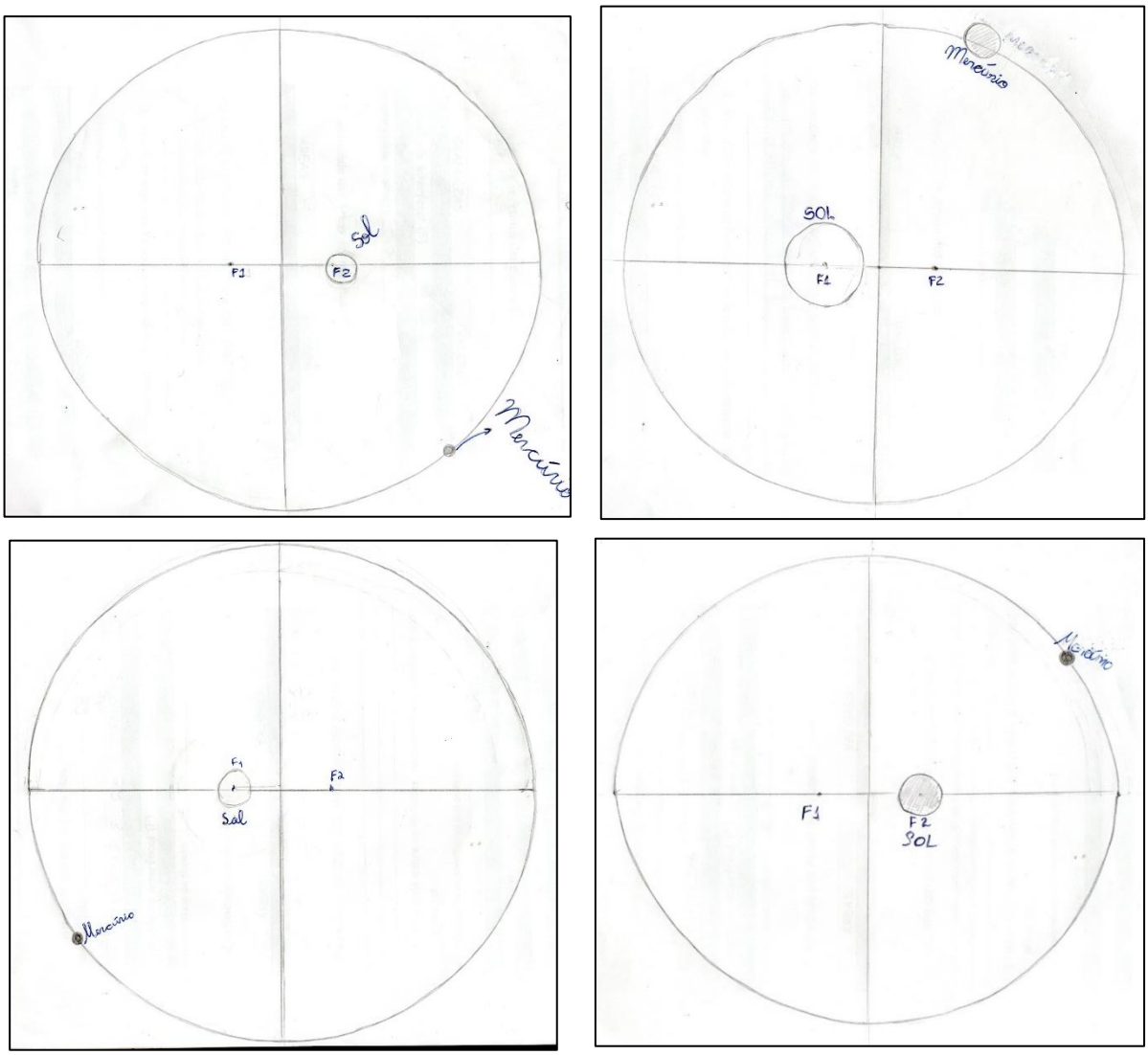
Na imagem abaixo, apresentamos algumas elipses desenhadas pelos alunos em que está apresentado a escala de valores utilizada pelos mesmos no desenvolvimento desta atividade prática.

Figura 25 - Desenho representativo de uma dupla da órbita de Mercúrio com excentricidade e = 0,2, e respectivos valores das componentes da elipse usados para a sua construção.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 26 - Elipses do planeta Mercúrio desenhado por ouras duplas.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

O desenvolvimento dessa atividade foi importante porque não só ajudou a trazer a elipse para o cotidiano do aluno, que aprendeu a desenha-la, como também promoveu a compreensão de como os pontos focais estão intimamente relacionados à elipse. Em vista disto, através das figuras apresentadas que mostram o desenvolvimento dos alunos são de acordo com a TCC de Vergnaud as representações simbólicas (R) feitas pelos mesmos, com o objetivo de construir possíveis invariantes operatórios acerca do tema abordado – Primeira Lei de Kepler.

Consequentemente, é possível compreender que os resultados analisados, mostraram exatamente que por meio do desenvolvimento da Atividade 1, os conceitos foram mais compreendidos pelos alunos e o entendimento entre o enunciado da lei que

afirma “Todo planeta descreve uma órbita elíptica em torno do Sol”, e que essa elipse não possui muita excentricidade, se tornou mais significativo, justificando um ponto crucial da Teoria dos Campos Conceituais de acordo com Moreira (2002), ou seja, os conceitos tornam-se significativos através de situações, e que as mesmas constituem a principal entrada de um campo conceitual. Situações essas que foram apresentadas durante as aulas, concluídas a partir dos significantes (representações simbólicas), e obtidas com a atividade aplicada.

Após a primeira atividade desenvolvida os discentes tiveram a aula referente a segunda lei de Kepler, que estabelece a velocidade aureolar de cada um dos planetas que é constante, ou seja, eles descrevem áreas iguais em tempos iguais. Assim sendo, para que os alunos pudessem compreender tal enunciado os mesmos desenvolveram a Atividade 2. Para essa questão desenharam a órbita de Plutão, conforme os mesmos procedimentos da 1ª atividade, em um papel milimetrado, e em seguida deu-se o cálculo da área a fim de comprovar a lei e concretizar o entendimento de tal conceito. Para esse momento tivemos também duas etapas:

I) Para relacionar o que a lei fala sobre “áreas iguais em intervalos de tempos iguais” com a demonstração partimos dos seguintes dados: por exemplo, sabendo que o período de translação de Plutão é de 248 (duzentos e quarenta e oito) anos e que ao dividimos esse valor por 5, obtemos 5 intervalos[9] iguais de aproximadamente 50 (cinquenta) anos cada. O mesmo pode ser feito para Mercúrio que é o planeta mais próximo do Sol possuindo um período de translação de 88 (oitenta e oito) dias ao dividir esse valor novamente por 5 (cinco), teremos 5 (cinco) intervalos de 18 (dezoito) dias cada. Logo, tal procedimento pode ser feito para outros astros.

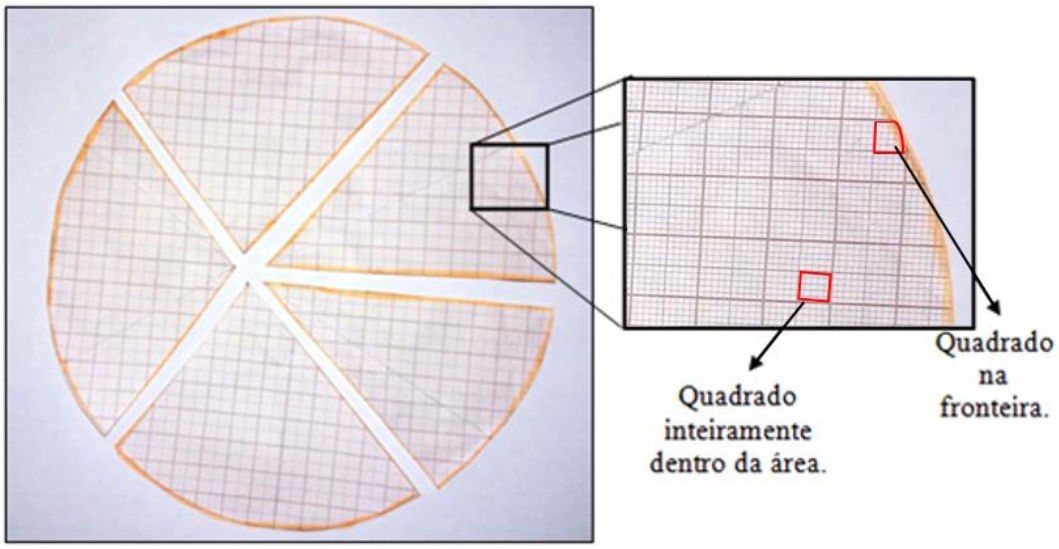
II) Depois de desenhar a órbita e dividi-la em 5 (cinco) partes, os alunos pegaram duas dessas áreas e seguiram o seguinte procedimento:

1) Os alunos contaram todos o “centímetros quadrados” do papel milimetrado que estavam inteiramente dentro do “pedaço” da “área”. Logo após, multiplicaram esse número por 4 (quatro), já que a unidade de área na verdade era quadradinho com 5 (cinco) mm de lado (um quarto de centímetro quadrado) do papel.

2) Na fronteira foram contados todos os quadradinhos (de 5 milímetro de lado) em que a linha da fronteira passa por eles. Somemos esses quadradinhos e divididos por 2(dois). Veja a **Figura 27.**

[9] Dividimos os valores dos períodos de translação dos planetas por 5, afim de facilitar para o aluno a contagem dos “quadradinhos” da porção de área que compõem o papel milimetrado.

Figura 27 - Demonstração da órbita do planeta Plutão e suas áreas em papel milimetrado.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

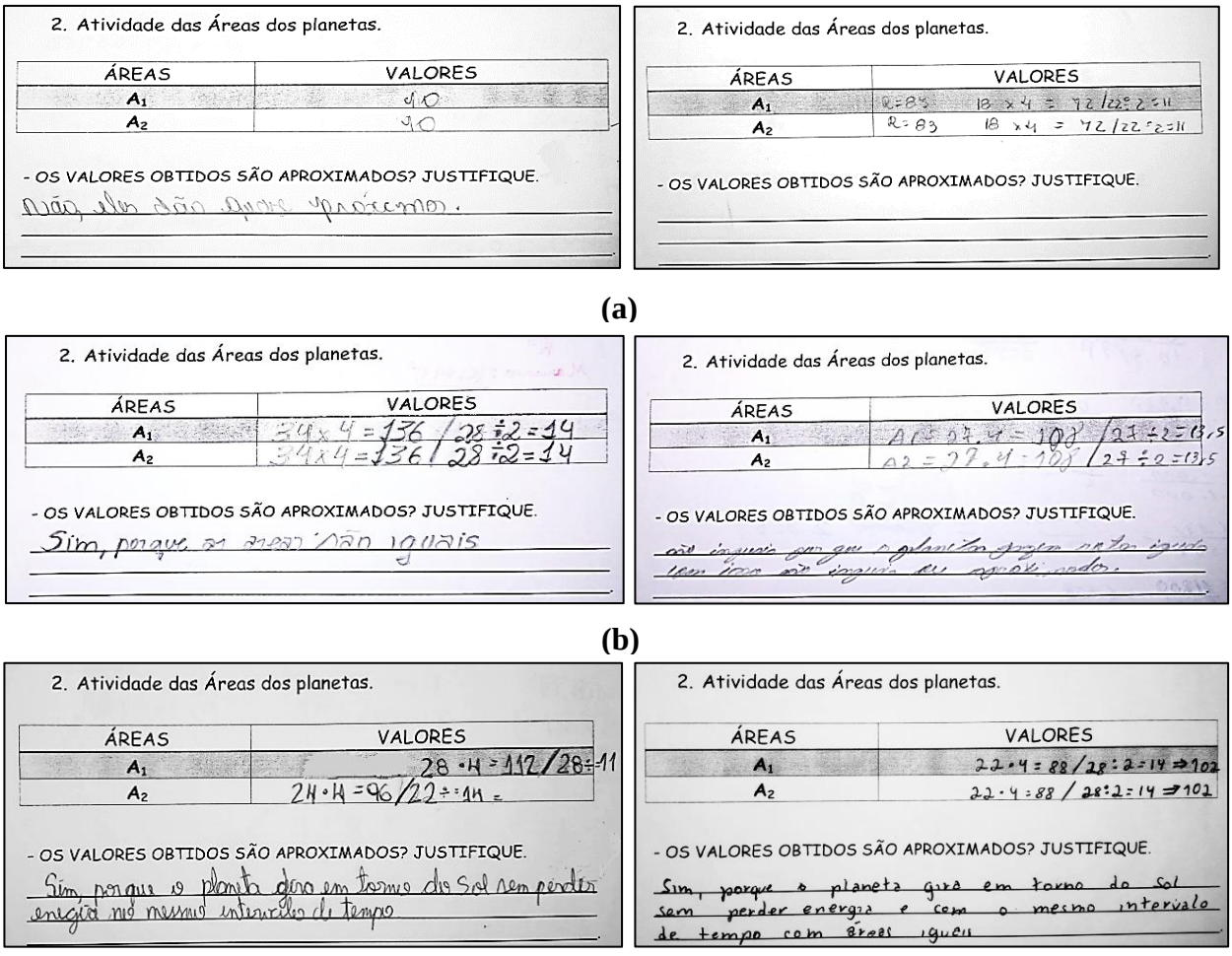
Somando os resultados obtidos nos dois itens anteriores os alunos obtiveram a área da seção medida.

3) Repetiram o procedimento para outra “área”.

4) Todos esses dados foram colocados em uma ficha que foi entregue para cada grupo (a mesma pode ser encontrada no Apêndice B). É importante destacar que o nível taxonômico da questão é o Relacional, ou seja é exigido dos alunos que percebam a informação principal da questão sem elevarem necessariamente a uma visão global do tema.

As figuras abaixo são os dados coletados dos alunos. Nelas constam as representações simbólicas, que foram todos os desenvolvimentos da atividade como: os cálculos - em busca dos valores das áreas; e os invariantes operatórios - relacionados aos conceitos trabalhados e referentes a resposta subjetiva feita pelos alunos no questionamento apresentado.

Figura 28 - Resultados das duplas para a segunda questão dividido em: (a) duplas em nível pré-estrutural; (b) duplas em nível uniestrutural; (c) duplas em nível relacional.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A Atividade 2 mostrou que se tendo a órbita do planeta já desenhada em escala e dividida em iguais intervalos de tempo podemos calcular a área varrida pela linha imaginária que liga o Sol ao planeta e confirmarmos que estas áreas são iguais.

Com isso, através desses dados apresentados nas figuras acima, observamos que há indícios de que as situações propostas para a compreensão dos significados dos conceitos da Lei das Áreas impactaram nos estudantes, levando-os a desenvolverem seus repertórios de esquemas, utilizando elementos presentes nas demonstrações feitas nas aulas e explicações, durante o processo de aplicação desta atividade, para expressar suas compreensões como podemos perceber, através de suas respostas.

É importante também fazer uma análise com relação ao nível das respostas apresentadas pelas duplas, como podemos ver no quadro abaixo:

Quadro 5 - Resultados das duplas através da TCC.

Respostas das duplas	Análise das respostas com base na TCC
Dupla 1: "Não, eles dão quase próximos." **Dupla 2**: NÃO DESENVOLVEU O ITEM.	A partir dos resultados apresentados, notamos respostas inconsistentes, tanto para a dupla 1 que não desenvolveu os cálculos e a pergunta objetiva como esperado. Quanto para a dupla 2 que embora tenha desenvolvido os cálculos, não resolveu o item da pergunta objetiva. Isso nos mostra que os alunos não atingiram um grau satisfatório de conhecimentos pertinentes referente aos conceitos trabalhados durante as aulas.
Dupla 1: "Sim, porque as áreas são iguais." **Dupla 2**: "São iguais por que os planetas fazem rotas iguais com isso são iguais ou aproximados".	É visível que através das respostas, os alunos conseguiram identificar com facilidade o item da questão, porém tiveram dificuldade de relacionar o concreto (informações coletadas na figura) e elevar para o abstrato, mostrando que possuem ainda poucas informações para a construção dos seus próprios esquemas.
Dupla 1: "Sim, porque o planeta gira em torno do Sol sem perder energia no mesmo intervalo de tempo." **Dupla 2**: "Sim, porque o planeta gira em torno do Sol sem perder energia e com o mesmo intervalo de tempo com áreas iguais."	A resposta dos alunos, identificam que os mesmos relacionam perfeitamente os dados encontrados com o conceito abordado na segunda lei de Kepler. Configurando de acordo com Vergnaud, um teorema-em-ato que é uma proposição tida como verdadeira sobre o real, ou seja, os discentes manuseiam os conceitos de maneira pertinente daquilo que é aceito cientificamente.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

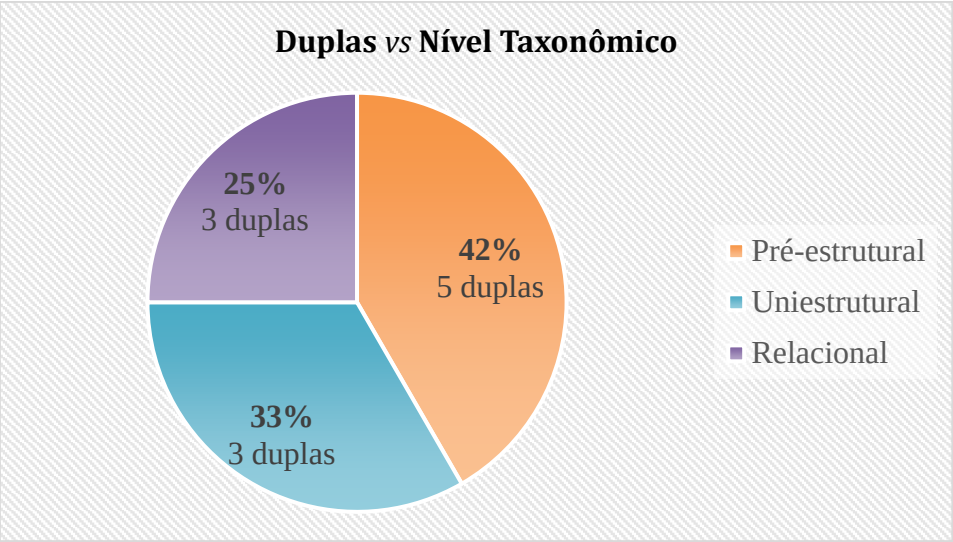
Em uma visão mais geral do nível de aprendizagem da turma com relação a atividade trabalhada, temos a tabela e o gráfico a seguir mostram a análise de todas as duplas com relação aos níveis taxonômicos. É importante lembrar que ainda para esta atividade apenas 24(vinte e quatro) alunos estavam presentes.

Tabela 3 - Relação geral do nível Taxonômico da sala de aula.

Quantidade de Duplas	Níveis Taxonômico	Porcentagem
5	Pré – Estrutural	42%
4	Uniestrutural	33%
3	Relacional	25%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Gráfico 6 - Análise dos níveis taxonômicos das duplas referente a atividade 2.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A partir dos dados citados observamos que 5 (cinco) duplas (42%) se encontram em um nível taxonômico Pré-estrutural, que estão relacionados ao fato dos mesmos saberem que elementos considerar, que propriedades aplicar (por exemplo, quando calcularam as áreas da órbita do planeta), mas não conseguiram reconhecer e nem explicitar porque fizeram, ou seja, os discentes se encontram em um nível aquém do desejável, que de acordo com Vergnaud (2009), existe ainda uma dificuldade de não conseguirem explicitar verbalmente parte dos conhecimentos que utilizam na ação, embora tenha tido certa experiência em determinada situação. Os conceitos necessários para resolver essas situações são instrumentos da ação do sujeito. Em outras palavras, os alunos usaram apenas a parte operacional dos significados do conceito. Mas o significado não é só isso, nem o conceito é só significado. Existindo aí um “operacionalismo” ou

“operativismo” que pode, inclusive, ser indicador de uma aprendizagem mecânica (GRECA; MOREIRA, 2003).

Outro ponto importante mostrado nos resultados foi que 33% das duplas (4 duplas) se encontram no nível taxonômico Uniestrutural, ou seja, os discentes conseguem identificar o elemento principal da atividade, mas como possuem ainda poucas informações, não desenvolvem com êxito a questão como um todo. Não deixando de ser um bom resultado, pois as dificuldades apresentadas pelos alunos apontam os conhecimentos implícitos (invariantes operatórios) que irão servir de norte para que em futuras atividades aplicadas possa-se desestabilizá-los.

Apenas 25% das duplas (4 duplas) tiveram um bom desempenho na atividade, e ficaram no nível Relacional que era o exigido pela questão. Com isso, segundo Vergnaud (1996), essas duplas sabem explicitar os objetos, os conceitos e suas propriedades, existindo uma relação dialética entre o desenvolvimento da forma operatória do conhecimento e da forma predicativa desse conhecimento.

C) Aula 4.

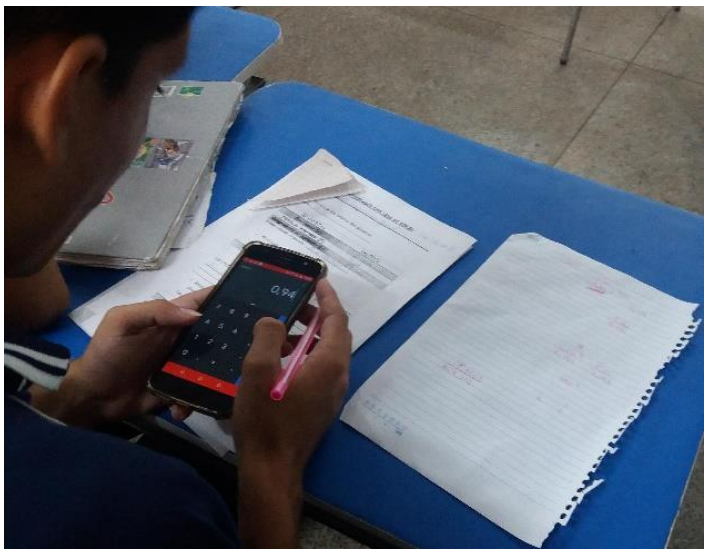
Na quarta aula ministrada, trabalhamos a terceira Lei de Kepler – Lei dos Períodos e a partir de conhecimentos já estudados sobre as outras leis, foi abordado conceito relacionado a esta, e por fim, a aplicação da Atividade 3.

Para a execução da terceira atividade, os alunos se reuniram novamente em dupla e receberam uma ficha de questões (que pode ser encontrada no Apêndice B). O objetivo desta atividade foi inicialmente, calcular o valor da constante (k) mencionada na lei, e logo após, utilizá-la para descobrir os períodos de translação de outros planetas, buscando proporcionar ao aluno uma relação de compreensão entre o conceito abordado com o resultado encontrado pelos mesmos. Com isso, os procedimentos trabalhados, foram:

I) Inicialmente as duplas tiveram que descobrir qual é o valor da constante mencionada na lei dos Períodos, utilizando a equação da lei e os dados do raio e do período de cada planeta (que foram disponibilizados para os alunos). Logo após colocaram esses valores em uma tabela.

II) No segundo momento, os alunos tiveram que encontrar o período de translação dos seguintes planetas: Urano, Netuno e Plutão. Para tanto, foi disponibilizado o valor de seus raios médios e através da equação da lei, encontraram os períodos dos mesmos.

Figura 29 - Aluno desenvolvendo os cálculos da atividade 3.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

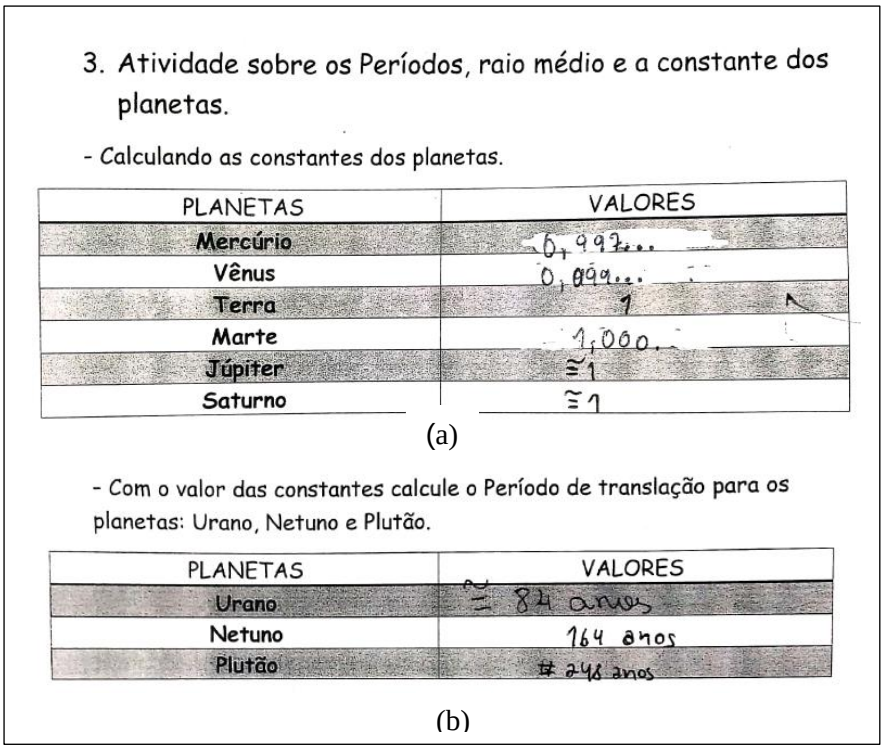
Esta atividade teve duas propostas importantes com relação a TCC para o desenvolvimento de possíveis invariantes operatórios referentes a esse tópico, que são: as representações linguísticas com o enunciado da terceira lei "os quadrados dos períodos de revolução dos planetas ao redor do Sol são diretamente proporcionais ao cubo dos raios médios de suas órbitas", que formam o conhecimento científico explícito formal; e as representações simbólicas relacionadas a equação desta lei, que formam o conhecimento implícito.

Em um primeiro momento durante a aplicação da atividade alguns alunos tiveram dificuldade com a utilização da fórmula matemática, mas após as explicações feitas pelo professor em sala e o acompanhamento do desenvolvimento do restante da questão com as duplas. Todos os discentes obtiveram êxito na conclusão dos seus resultados.

Um ponto importante a ser falado sobre esse momento da aula e também das outras aulas é justamente o papel central do professor como mediador como é proposto por Vergnaud, de provedor dessas situações problemáticas frutíferas, que estimulam a interação do sujeito com as situações, possibilitando-lhe desta forma a ampliação e diversificação dos esquemas de ação do sujeito (MOREIRA, 2002).

Abaixo veremos as imagens que apresentam os resultados obtidos pelos discentes na terceira atividade.

Figura 30 - Em (a) são os dados dos cálculos de uma das duplas da constante k de alguns Planetas, e em (b) os dados dos resultados do período de translação dos Planetas: Urano, Netuno e Plutão.



3. Atividade sobre os Períodos, raio médio e a constante dos planetas.

- Calculando as constantes dos planetas.

PLANETAS	VALORES
Mercúrio	0,997...
Vênus	0,999...
Terra	1
Marte	1,000...
Júpiter	≅1
Saturno	≅1

(a)

- Com o valor das constantes calcule o Período de translação para os planetas: Urano, Netuno e Plutão.

PLANETAS	VALORES
Urano	≅ 84 anos
Netuno	164 anos
Plutão	≅ 248 anos

(b)

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os resultados apontados indicam os valores obtidos pelos alunos através da utilização da equação proposta por esta lei, que formam como citado, os resultados implícitos dos alunos. Esses resultados serviram de suporte para que os mesmos obtivessem uma resposta explícita e científica da terceira lei de Kepler, e com isso, puderam observar que, quanto maior for a distância do Sol, maior será o período de translação, mas a relação $\frac{T^2}{a^3} = k$, (que é a relação que representa o enunciado da Lei) é a mesma para todos.

Tal ação trabalhada através desta atividade teve como proposta proporcionar aos estudantes ferramentas para a construção de conceitos e teoremas explícitos e gerais de acordo com os conceitos. Em outras palavras, Vergnaud (1990, p. 21) afirma que: “palavras e símbolos, sentenças e expressões simbólicas são instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação dos invariantes operatórios implícitos em teoremas e conceitos”.

No próximo tópico, veremos outro instrumento utilizado nas aulas que serviram também de suporte da concretização e construção de possíveis invariantes operatórios pelos alunos.

4.4.2 Maquete das Leis de Kepler

Após as atividades, ainda na 4ª aula foram apresentadas em sala de aula as maquetes produzidas e confeccionadas com materiais de baixo custo como uma demonstração da aula experimental, onde serviram como uma importante variável para que os discentes pudessem promover uma aprendizagem mais construtiva e concreta.

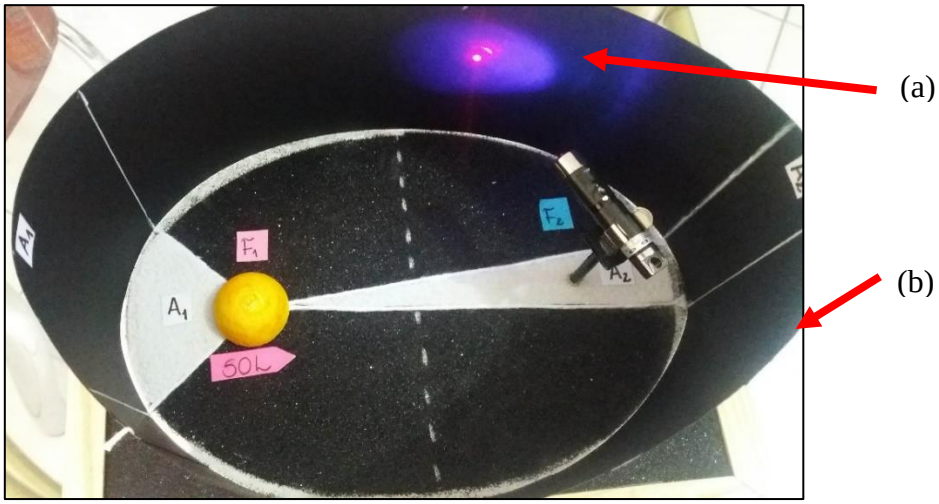
As situações oferecidas nestas demonstrações também serviram para a busca de complementações sobre os temas estudados nestas aulas, explorando com maior abrangência o campo conceitual associado às Leis de Kepler. Abaixo, podemos observar o recurso didático demonstrativo intitulado “Maquete das Leis de Kepler”, confeccionada

Figura 31 - Maquete das Leis de Kepler.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para a representação da 1ª Lei – Lei das Órbitas, de acordo com a figura abaixo, o recurso utilizou-se de um laser que descreve o movimento de um planeta em torno de uma órbita elíptica com relação ao Sol, o mesmo está posicionado sobre um dos focos da elipse.

Figura 32 - Demonstração da primeira Lei de Kepler – Lei das órbitas. (a) luz do laser que representa o planeta; (b) suporte de papel para representar a órbita descrita pelo planeta.

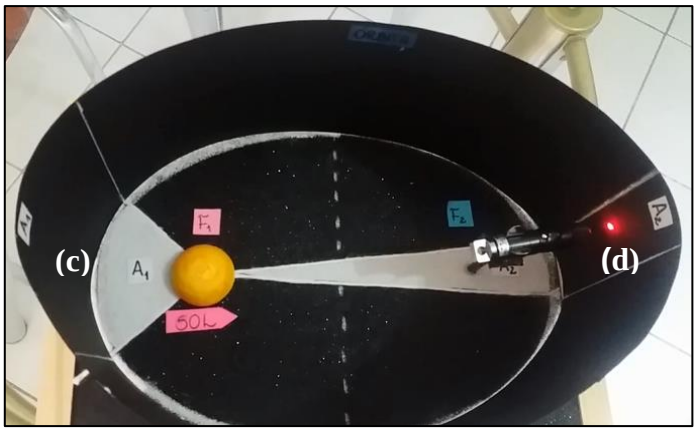


Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para a 2ª Lei – Lei das Áreas foi representado por áreas em alto relevo com E.V.A, que representam as áreas varridas pelos planetas para simular a definição da lei quanto "A Linha que vai do Sol até qualquer planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais".

Também foi representado de acordo com a **Figura 33**, usando o laser (que é o planeta), a relação da velocidade quanto a distância do mesmo ao Sol, em que quando o planeta estiver próximo terá uma maior velocidade (Periélio); e distante menor velocidade (Afélio); para passar ao aluno uma similaridade com relação a definição destas leis.

Figura 33 - (c) representação do periélio – maior velocidade; (d) representação do afélio – menor velocidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Através da apresentação das maquetes observamos que a compreensão e ampliação do entendimento dos conceitos trabalhados tornou-se mais significativo para os discentes, visto que a TCC aponta justamente para uma proposta de aplicar diferentes situações de aprendizagens permitindo assim, a visualização dos conceitos, relações e propriedades dos modelos físicos para finalmente extrair os seus correspondentes invariantes operatórios.

Figura 34 - Alunos manuseando a maquete.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Contudo, através desse instrumento didático podemos relacionar a tríade da TCC, pois a maquete foi levada para a sala de aula como uma situação (S) proposta para dar sentido aos conceitos trabalhados, através das demonstrações explicadas e visualizadas; os discentes puderam absorver os invariantes operatórios (I) relacionados aos conceitos, e por fim a estrutura total da maquete forma um conjunto de representação simbólica (R) que servira para representar de forma explícita os invariantes operatórios citados.

Todo esse conjunto de situações apresentados nesse segundo momento pedagógico serviu de suporte para futuras atividades que foram desenvolvidas e explicadas nos próximos tópicos.

4.5 Terceiro momento pedagógico

Aqui, foi aplicado o desenvolvimento dos mapas conceituais como uma proposta de levar representações sobre o conceito estudado e a identificação de possíveis invariantes operatórios relacionamos a estes conteúdos trabalhados nas diversas situações anteriormente citadas.

Um mapa conceitual é uma técnica de análise, proposta por Novak (1997), que pode ser usada para ilustrar a estrutura conceitual de um conhecimento.

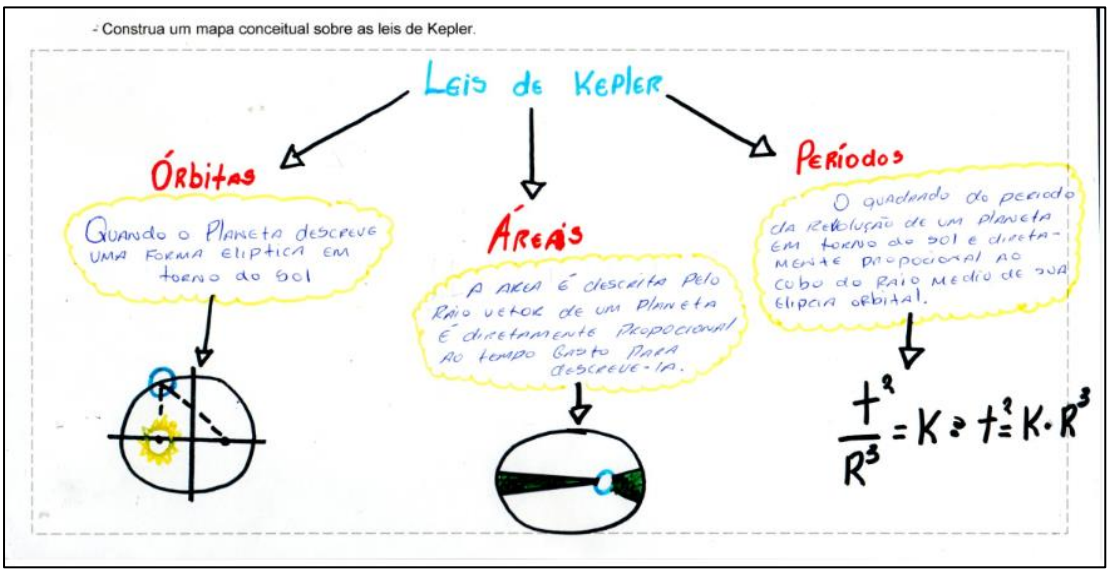
Os procedimentos para esta atividade serão descritos a seguir e complementaram o enfoque da 5ª aula desta sequência.

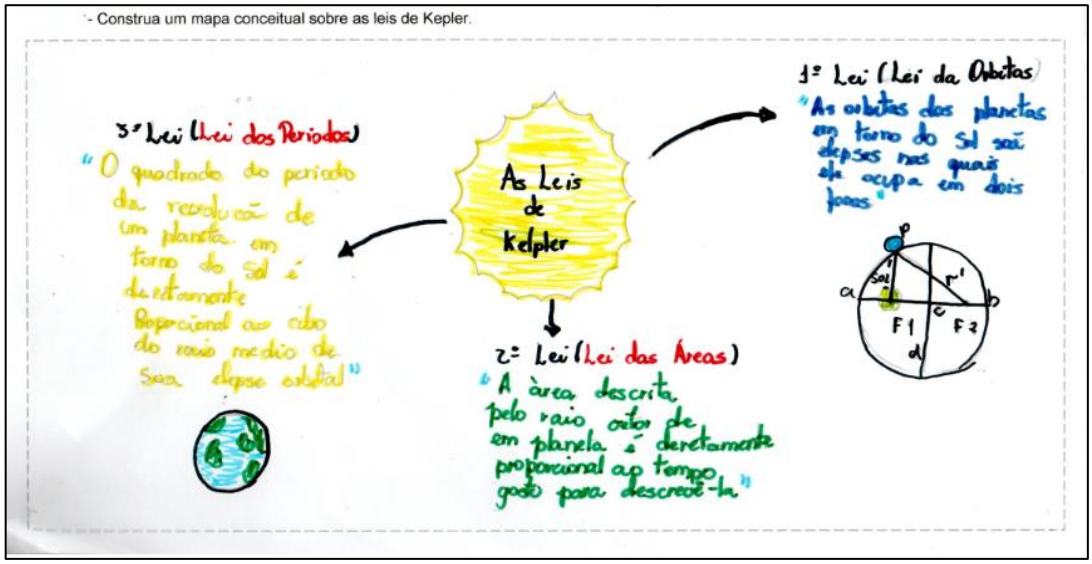
4.5.1 Aplicação e análise dos resultados dos mapas conceituais

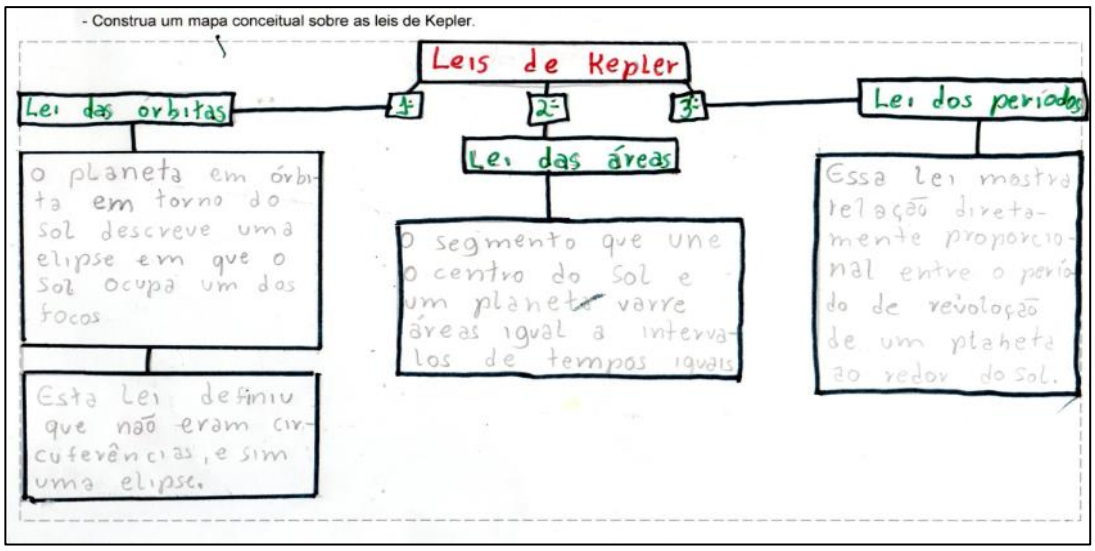
Para esta quinta aula, inicialmente foi apresentado a 26 (vinte seis) alunos presentes através de *slides* algumas técnicas de elaboração de mapas conceituais, reforçando principalmente a compreensão de conceitos, palavras de ligação, hierarquização, síntese e alguns exemplos de Mapas Conceituais. Posteriomente, a partir do conteúdo ministrado nas aulas anteriores, os alunos formaram duplas e elaboraram os seus próprios mapas.

Foram distribuídas uma ficha (se encontra no Apêndice C) e canetas hidrograficas coloridas para o desenvolvimento dos mapas (**Figura 34**) que tinha como o enfoque as Leis de Kepler.

Figura 35 - Mapa conceitual produzido pelos alunos (duplas).







Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No quadro abaixo, apresentamos possíveis invariantes operatórios encontrados nos mapas elaborados pelas duplas.

Quadro 6 - Invariantes operatórios apresentados pelos alunos no Mapa Conceitual.

Transcrição dos invariantes operatórios dos alunos	**Análise a partir da TCC**
"Órbitas – quando o planeta descreve uma **forma elíptica** em torno do Sol." "Primeira Lei (Lei das Órbitas) - Os planetas descrevem **órbitas elípticas**, com o Sol ocupando um dos focos." "1ª Lei (Lei das Órbitas) – As órbitas dos planetas em torno do Sol são **elipses** nas quais ele ocupa um dos focos." "1ª Lei das Órbitas – O planeta em órbita em torno do Sol descreve uma **elipse** em que o Sol ocupa um dos focos. Esta lei definiu que não eram circunferencias, e sim uma **elipse**."	As respostas apresentadas pelos alunos para a primeira Lei de Kepler, relacionam o movimento do planeta em torno no Sol apontando para a sua forma que é elíptica através de significantes como "elipses", "forma elíptica" ou "órbita elíptica", que são representações fortes do conceito abordado e também referem-se a conceitos – em - ação. Tais respostas também apontam teoremas–em–ação que é uma proposição que se supõe verdadeira sobre determinada situação.
"Áreas – a **área** é descrita pelo **raio vetor** de um planeta é **diretamente proporcional** ao tempo gasto para descrevê-la." "Segunda Lei (Lei das Áreas) - O planeta varre **áreas iguais** em **tempos iguais**." "2ª Lei (Lei das Áreas) – A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta é **diretamente proporcional** ao tempo gasto para descrevê-la." "2ª Lei das Áreas – O segmento que une o centro do Sol e um planeta varre **áreas iguais** a intervalos de **tempos iguais**."	Os alunos desenvolvem de maneira pertinente a relação entre os conhecimentos científicos explícitos apresentados em sala de aula, em suas representações da segunda lei de Kepler, obtendo assim teoremas-em-ação, conceitos – em - ação e representações linguísticas.
"Períodos – o quadrado do **período da revolução** de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio de sua eliptica órbita. E pode ser expressa pela equação $\frac{t^2}{R^3} = K \rightarrow t^2 = K \cdot R^3$." "Terceira Lei (Lei dos Períodos) – quanto maior a distância do planeta para o Sol, maior será o tempo levado para dar uma volta em torno do Sol (**período de translação**)."	Nessa parte do mapa conceitual os alunos além de descreverem o enunciado da terceira lei de Kepler de modo cientificamente explícito apontando teoremas – em – ação e conceitos – em – ação ("períodos", "período de translação" e "período de revolução"), ainda tivemos uma dupla que descreveu no final uma outra forma de representar a lei através da equação que é uma representação não linguística (representação simbólica) que permitiu demonstrar simbolicamente o conceito.

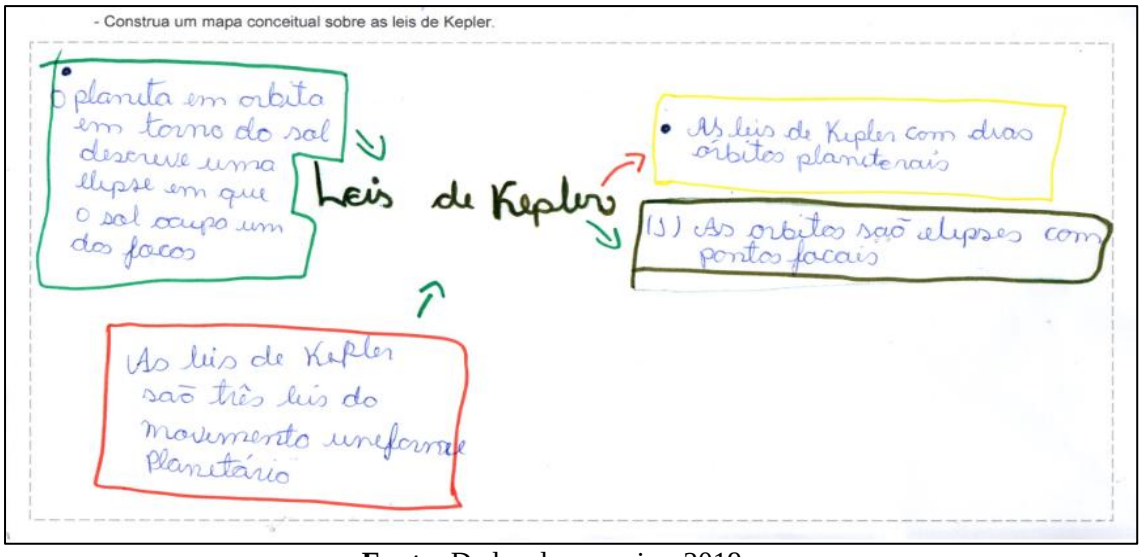
"3ª Lei (Lei dos Períodos) – O quadrado do **período de revolução** de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio de sua elipse orbital." "3ª Lei dos períodos – Essa lei mostra relação diretamente proporcional entre o **período de revolução** de um planeta ao redor do Sol."	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A análise dos resultados apresentados corresponderam às 12 (doze) duplas (92%) participantes das atividades e foi possível observar que os alunos nesse processo após as aplicações das atividades (citadas anteriormente no segundo momento pedagógico) mostram-se bastante apropriados dos conceitos trabalhados com relação as leis de Kepler. Em cada uma das situações apresentadas por eles para a demonstração de cada lei, os mesmos construíram seus invariantes operatórios e apontaram um tipo de representação simbólica (desenhos ou equação) formando então a tríade necessária para a formação do conceito.

Apenas dois alunos (1 dupla – 8%) não conseguiram desenvolver com êxito o mapa conceitual. Demonstrando conhecer poucos elementos importantes das situações que caracterizam o campo conceitual envolvido. Na a seguir, observamos a atividade dos discentes.

Figura 36 - Mapa conceitual da dupla.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os estudantes apresentaram informações incompletas abordando mais indicadores de teoremas – em – ação referentes a primeira lei, como: “As órbitas são elipses com pontos focais” e “O planeta em órbita em torno do Sol descreve uma elipse em que o Sol ocupa um dos focos”. Essa dificuldade está relacionada com a falta de esquemas eficazes para o desenvolvimento do campo conceitual abordado, que de acordo com a TCC de Vergnaud (1996), o domínio de um campo conceitual leva muito tempo; aprender e desenvolver competências, no sentido de dar conta de situações - problema é progressivo e demorado.

Com isso, é importante enfatizar que tais resultados só foram visíveis, até aqui, através das diversas siuações apresentadas aos alunos afim de que os mesmos pudessem perceber os conceitos, relações e propriedades dos modelos físicos e “extraísse” a partir delas os seus correspondentes invariantes operatórios, como foi mostrado em seus mapas conceituais.

4.6 Quarto momento pedagógico: oficina de *Lapbook*

Após todas as atividades desenvolvidas nos momentos pedagógicos anteriores, os alunos participaram da oficina de *lapbook*, que foi aplicada como um recurso pedagógico que pode trazer uma contribuição na construção de conceitos e avaliação de possíveis invariantes operatórios, assim como também ajudar a minimizar a abstração que, inevitavelmente está presente nas aulas e avaliações de Física. Logo, o *lapbook* é um recurso que visa proporcionar aos professores de todos os níveis de ensino a oportunidade de construir um trabalho significativo com o conteúdo abordado, permitindo o desenvolvimento do processo contínuo de ensino-aprendizagem, pois, através desta técnica e dos seus registros o docente é capaz de observar a aprendizagem e as dificuldades obtidas pelos alunos e se possível reencaminhá-las.

Abaixo veremos outros importantes benefícios dessa técnica de ensino aprendizagem:

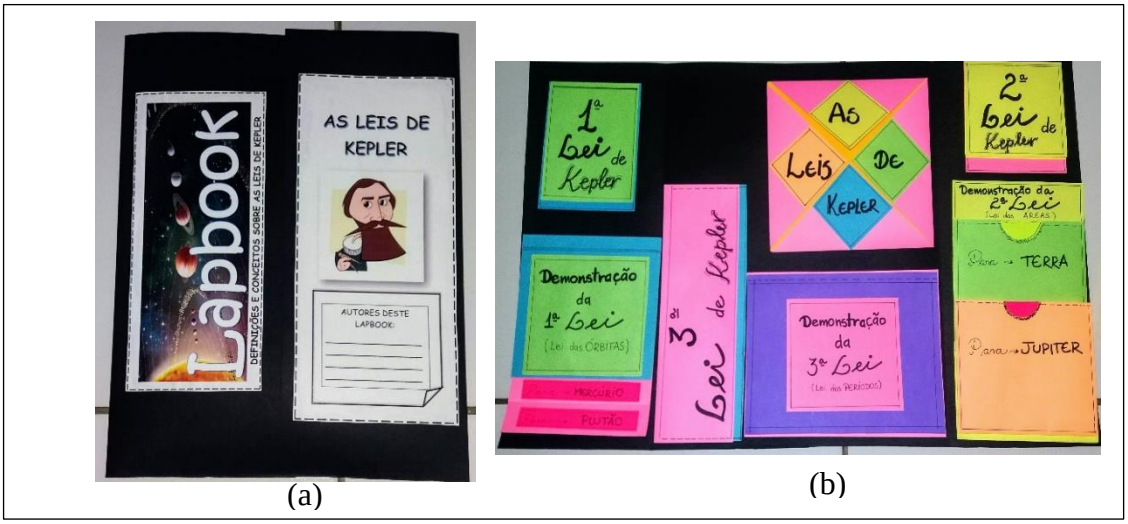
A) Ótimo recurso para sintetizar conceitos do que o aluno aprendeu sobre determinado assunto;

B) Permitem a criatividade dos alunos ao criarem seus próprios projetos;

C) Podem ser usados como síntese de várias unidades de estudo;

D) Podem se tornar pastas prontas para futuros estudos.

Figura 37 - Modelo de *lapbook* apresentado para os alunos. (a) parte externa do recurso; (b) parte interna com modelos de *minibooks* (ou minilivros) conceituais.



(a) (b)

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

De acordo com a imagem, podemos concluir que cada *lapbook* é uma criação única porque o aluno acessa evidências de aprendizagem para construí-lo, ou seja, permite que o aprendiz aprenda a construir o próprio método de estudo.

Contudo, todos os procedimentos desta oficina foram divididos em quatro aulas, em dois horários e foram acompanhados inteiramente com a participação do professor em sala, dando todo suporte necessário aos alunos, mediando o processo de ensino-aprendizagem. Abaixo veremos os procedimentos adotados na oficina.

4.6.1 Construção do *Lapbook*

Primeiramente os alunos formaram duplas e logo após receberam material adequado para a produção dos seus *lapbooks*, que foram:

A) Lápis e borracha;

B) Compasso;

C) Régua;

D) Cola;

E) Tesoura;

F) Canetas hidrográficas coloridas;

G) Folhas coloridas;

H) Giz de cera;

I) 1 folha de papel Canson.

Na posse desses materiais, os alunos foram instruídos pelo professor as etapas do desenvolvimento da atividade, que consistiam a cada conteúdo abordado (1ª, 2ª e 3ª Lei de Kepler), uma atividade demonstrativa das leis, e logo após desenvolveram um *minibook* sintetizando os conceitos no *lapbook*. A ficha de construção dessa técnica se encontra no Apêndice D.

Figura 38 - Alunos construindo seus *lapbooks*.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Ao final de todas as etapas, os alunos apresentaram e explicaram suas ideias desenvolvidas em todo o processo de construção do material.

Durante todas as atividades ficou evidente o envolvimento e a participação dos alunos, porém foi possível identificar algumas dificuldades com alguns procedimentos da atividade aplicada, com relação a produção dos minilivros, mediante as demonstrações das leis e os conceitos a serem desenvolvidos nos mesmos.

4.6.2 Avaliação do *Lapbook*

Os *lapbooks* foram avaliados sob diferentes aspectos: desempenho, produção do trabalho e aprendizagem. Alguns critérios avaliativos serviram para a análise dos trabalhos em cada uma dessas variáveis. É importante enfatizar que a aprendizagem dos alunos foi avaliada através da taxonomia SOLO e da TCC de Vergnaud. Com isso, tais aspectos podem ainda ser agrupados em uma tabela por nível, do mais simples ao mais complexo. Veja a seguir:

Tabela 4 - Critérios para a análise do *lapbook.*

Nível	1	2	3	4	5
Desempenho (D)	O trabalho apresentado não possui criatividade, organização, qualidade e dinamicidade, mostrando ser inadequado, irrelevante.	Desenvolve limitadamente a criatividade, organização, qualidade e dinamicidade, não apresentando uma descrição do processo de forma clara e objetiva.	Apresenta algumas organizações porém ainda possuindo algumas dificuldades na qualidade e dinamicidade do trabalho.	Desenvolve com qualidade e criatividade; usa representações nas organizações corretamente mas, nem sempre adequadas, afetando assim a dinamicidade.	Apresenta dinamicidade, criatividade, organização e qualidade, ou seja, utiliza-se de representações adequadas; desenvolve completamente a tarefa.
Produção do trabalho (P)	Desenvolve as ideias de forma ineficaz; às vezes as ilustrações não representam satisfatoriamente a situação.	Não apresenta elementos importantes; o processo de busca por conceitos e demonstrações é incompleto e difícil de identificar.	Desenvolve alguns elementos importantes na execução das atividades e demonstrações, mostrando poucas relações entre elas. Tornando-as assim pouco sistematizadas.	Todos os elementos necessários para a construção do trabalho foram utilizados satisfatoriamente; contendo informações pertinentes porém, com pequenas imperfeições.	Produz um trabalho cumprindo todas as etapas com êxito, demonstrando a capacidade de construir e desenvolver de forma organizada e sistemática.
Aprendizagem (A)	Mostra não compreender os conceitos e princípios da situação abordada. Não apresentando satisfatoriamente invariantes operatórios e representações simbólicas nos contextos abordados, estando assim, em um nível taxonômico **pré-estrutural**.	Apresenta elementos satisfatórios, mas omite partes significativas dos conceitos abordados referentes aos invariantes operatórios e representações – simbólicas (como fórmulas e figuras), ou seja, a descrição do processo não é clara, estando em um nível taxonômico **uniestrutural**.	Apresenta conceitos satisfatórios, mas a descrição é pouco clara, os argumentos estão incompletos ou baseados em premissas pouco relevantes ou inconsistentes, estando assim em um nível taxonômico **multiestrutural**.	Apresenta conceitos científicos corretos e explicações adequadas; comunica de forma eficaz; apresenta argumentos com invariantes operatórios e representações simbólicas contendo pequenas imperfeições, estando assim no nível taxonômico **relacional**.	Apresenta conceitos e demonstrações corretas; informa eficazmente; apresenta argumentos fortes e consistentes elevando assim seus conhecimento de forma aplicável a qualquer contexto, estando assim em um nível taxonômico **abstrato estendido**.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os critérios e níveis de aprendizagem foram feitos por meio da atribuição de pontos com os seguintes conceitos apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5 - Pontuação de desempenho.

Pontuação	Conceitos	Definição
13 – 15	Muito Bom (MB)	Resultados e competências além do esperado.
9 – 12	Bom (B)	Resultados apresentados satisfatórios.
6 – 8	Regular (R)	Resultados parcialmente satisfatórios.
3 – 5	Insuficiente (I)	Resultados de desempenho insuficiente.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A pontuação final será a soma das pontuações dos níveis, a qual será atribuído um conceito correspondente, conforme a tabela citada, sendo atribuídas, portanto, pontuações de 3 (três) a 15 (quinze) a cada modalidade de critérios referentes aos níveis. Veja na equação 4.2 abaixo:

$$\sum N = N_D + N_P + N_A \qquad 4.2$$

Onde, N_D é o nível de desempenho, N_P o nível de produção do trabalho e N_A o nível de aprendizagem.

Nas imagens abaixo, é possível observar os *lapbooks* desenvolvidos pelas duplas, e a partir deles conseguimos fazer uma análise dos níveis de aprendizagem com relação aos critérios que estão apresentados nos quadros. Toda a avaliação levou em consideração o tempo aplicado do produto e o primeiro contato dos discentes com essa técnica.

Figura 39 – *Lapbook* da dupla 1.

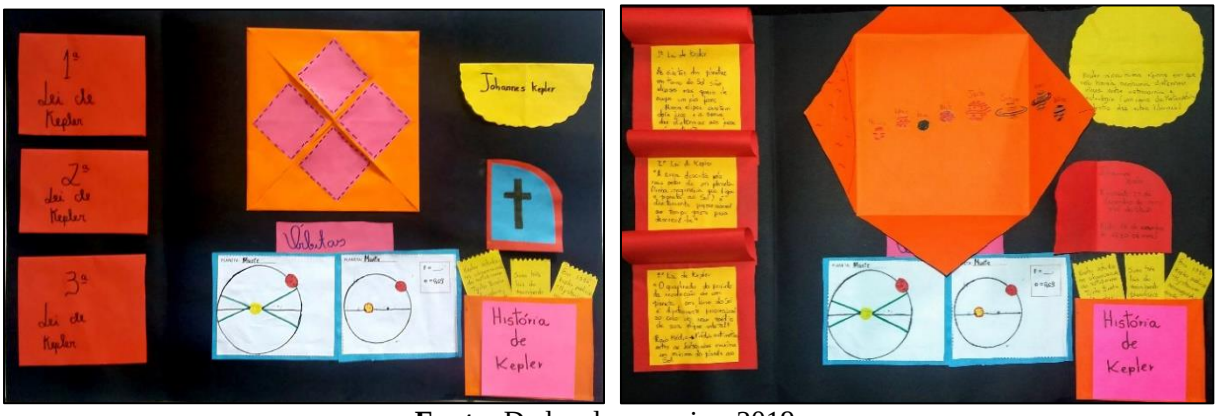
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 7 - Análise da dupla 1 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação / Conceito**
	D	P	A		
1				O trabalho é dinâmico, criativo e organizado. Os alunos cumpriram com todas as etapas para a construção dos conceitos e representações simbólicas (desenhos, equações) desenvolvidas nos *minibooks*, apenas apresentando algumas inconsistências na equação da lei das áreas.	13 = MB
2					
3					
4		X	X		
5	X				

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 40 - *Lapbook* da dupla 2.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 8- Análise da dupla 2 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho é dinâmico, criativo e organizado. Os alunos cumpriram com todas as etapas para a construção dos conceitos e representações simbólicas (desenhos) desenvolvidas nos *minibooks*, apenas apresentando algumas inconsistências com a falta de equações.	13 = MB
1					
2					
3					
4		X	X		
5	X				

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 41 - *Lapbook* da dupla 3.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 9 - Análise da dupla 3 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho é dinâmico, criativo e organizado. Os alunos cumpriram com todas as etapas para a construção dos conceitos e representações simbólicas (desenhos, equações) desenvolvidas nos *minibooks*, apenas apresentando algumas inconsistências nos argumentos apresentados.	13 = MB
1					
2					
3					
4		X	X		
5	X				

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 42 - *Lapbook* da dupla 4.

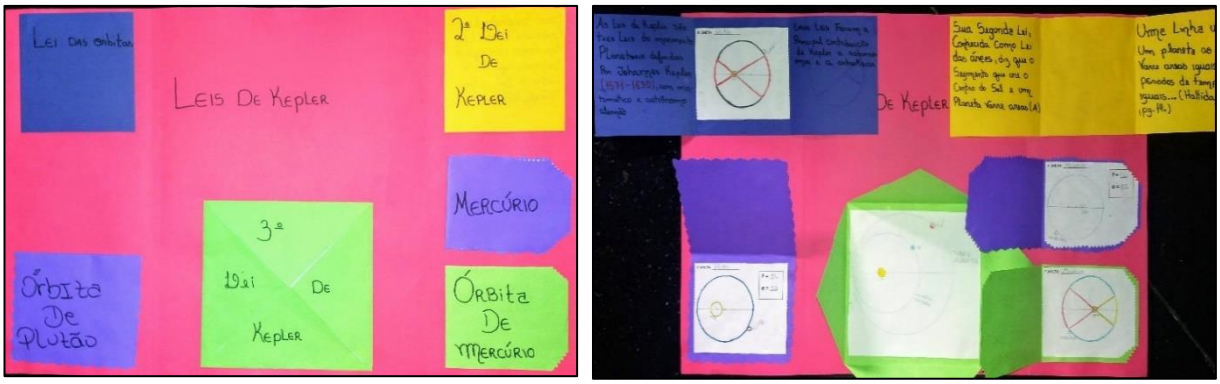
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 10 - Análise da dupla 4 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	Os alunos apresentam uma organização pouco sistematizada, com dificuldades no desenvolvimento das representações simbólicas (figuras e equações) levando a demonstrações incorretas e pouco relevantes, seus invariantes operatórios são corretamente acessados. Com isso, o conjunto de informações não se integram totalmente.	9 = B
1					
2					
3	X	X	X		
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 43 - *Lapbook* da dupla 5.



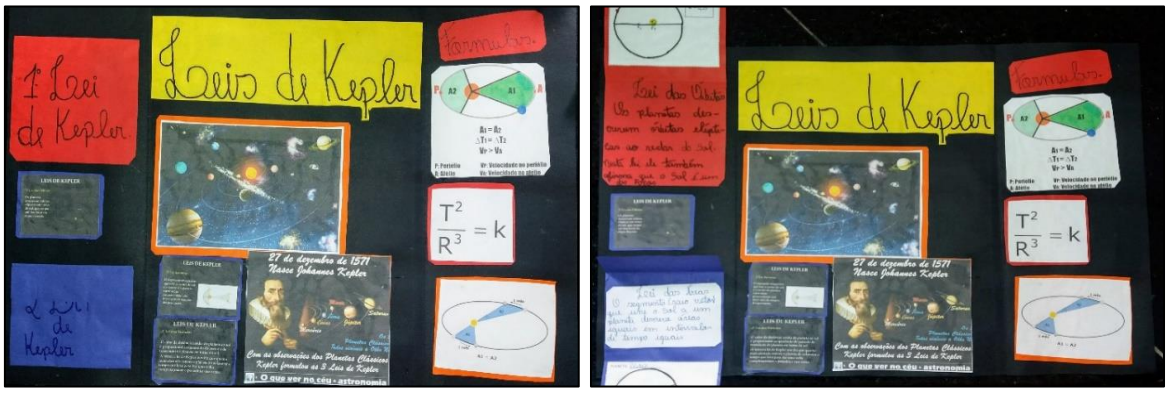
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 11 - Análise da dupla 5 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	Os alunos apresentam uma organização mínima no trabalho com dificuldades no desenvolvimento das representações simbólicas (figuras e equações) e invariantes operatórios nos *minibooks*, omitindo informações significativas dos conceitos.	8 = R
1					
2			X		
3	X	X			
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 44 - *Lapbook* da dupla 6.



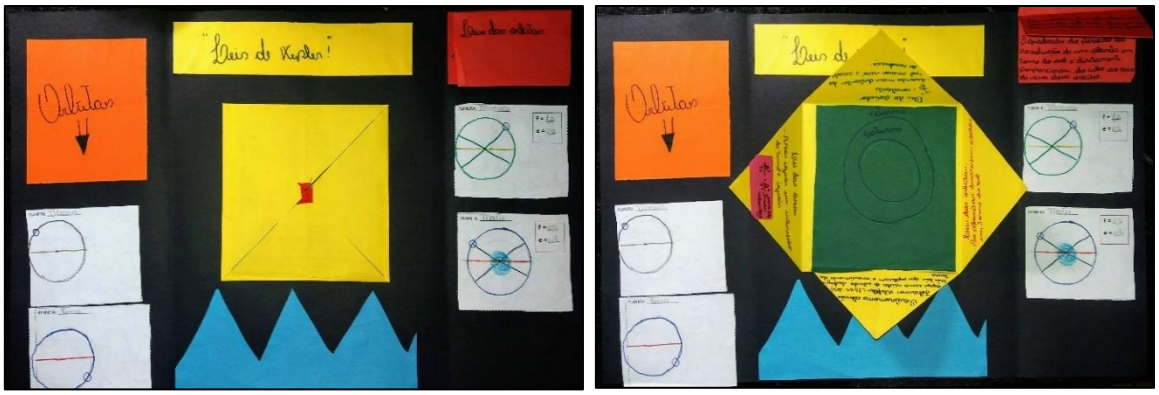
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 12 - Análise da dupla 6 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	Os alunos apresentam uma organização pouco sistematizada, com dificuldades no desenvolvimento das representações simbólicas (figuras e equações) levando a demonstrações incorretas e pouco relevantes, seus invariantes operatórios são corretamente acessados. Com isso, o conjunto de informações não se integram totalmente.	10 = B
1					
2					
3		X	X		
4	X				
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 45 - *Lapbook* da dupla 7.



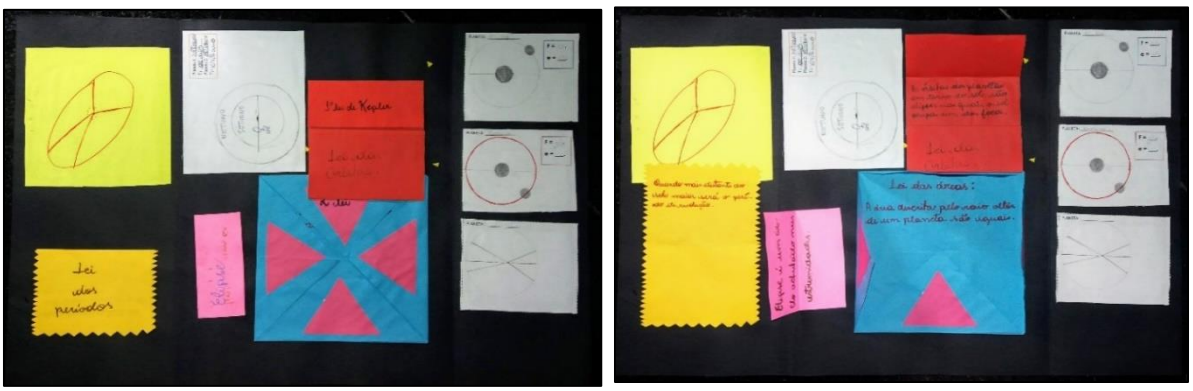
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 13 - Análise da dupla 7 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação/ Conceito**
	D	P	A	O trabalho apresentado é desenvolvido com alguns elementos importantes, porém, limitadamente com relação a criatividade, organização e dinamicidade das representações simbólicas (figuras e equações) e invariantes operatórios nos *minibooks*, não representando satisfatoriamente as situações e de difícil identificação.	6 = R
1					
2	X	X	X		
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 46 - *Lapbook* da dupla 8.



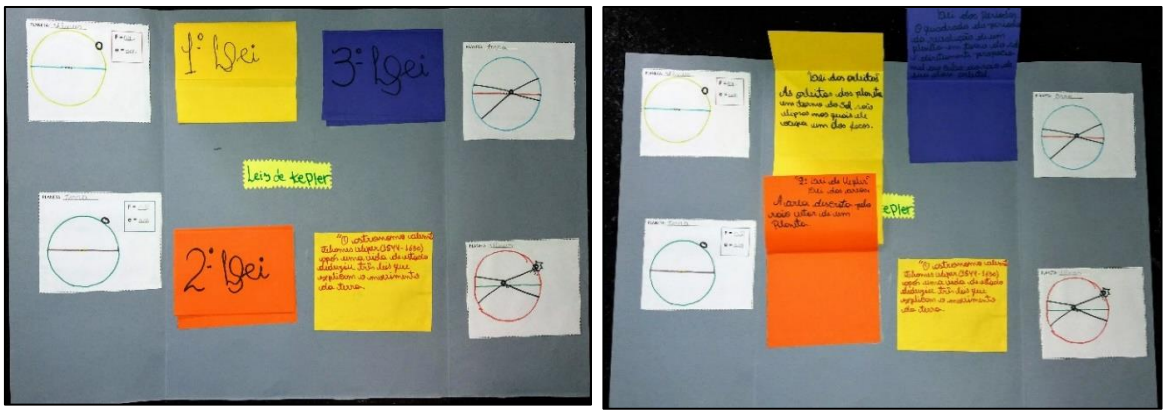
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 14 - Análise da dupla 8 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho apresentado não possui organização, criatividade, qualidade e dinamicidade. As ideias desenvolvidas com relação as representações simbólicas (figuras e equações) e os invariantes operatórios não representam satisfatoriamente as situações abordadas, embora citem alguns elementos importantes nos conceitos.	4 = I
1	X	X			
2			X		
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 47 - *Lapbook* da dupla 9.



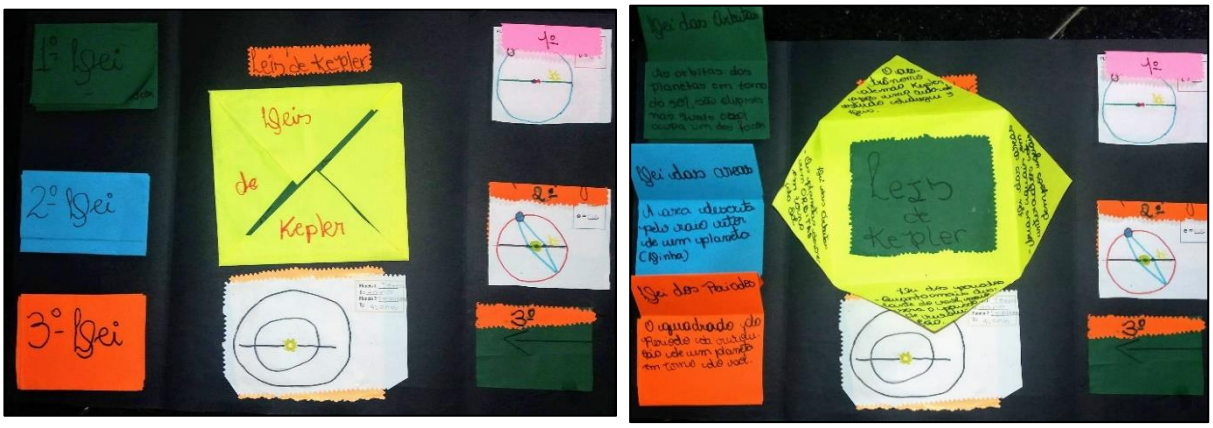
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 15 - Análise da dupla 9 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho apresentado não possui organização, criatividade, qualidade e dinamicidade. As ideias desenvolvidas com relação as representações simbólicas (figuras e equações) e os invariantes operatórios não representam satisfatoriamente as situações abordadas, embora citem alguns elementos importantes nos conceitos.	4 = I
1	X	X			
2			X		
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 48 - *Lapbook* da dupla 10.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 16 - Análise da dupla 10 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação/ Conceitos**
	D	P	A		
1		X		O trabalho apresentado demonstra limitadamente organização, criatividade, qualidade e dinamicidade. As ideias desenvolvidas com relação as representações simbólicas (figuras e equações) e os invariantes operatórios nos *minibooks* não representam satisfatoriamente as situações abordadas, embora citem alguns elementos importantes nos conceitos.	5 = I
2	X		X		
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 49 - *Lapbook* da dupla 11.

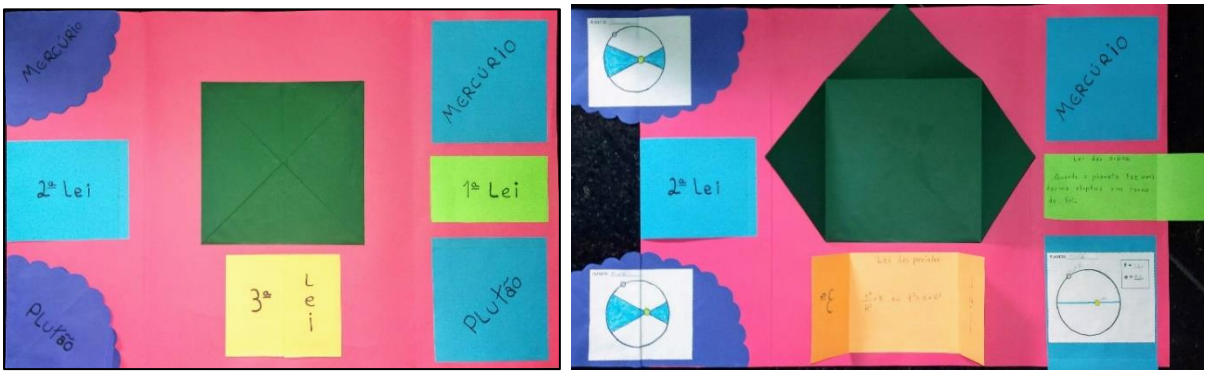
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 17 - Análise da dupla 11 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação/ Conceito**
	D	P	A	O trabalho apresentado possui organização, criatividade, qualidade e dinamicidade limitadamente. As ideias desenvolvidas com relação as representações simbólicas (figuras e equações) e os invariantes operatórios nos *minibooks* são apresentados satisfatoriamente, embora, faltem alguns elementos importantes nas situações com demonstrações incompletas.	7= R
1					
2	X	X			
3			X		
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 50 - *Lapbook* da dupla 12.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 18 - Análise da dupla 12 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação/ Conceito**
	D	P	A	O trabalho apresentado possui organização, criatividade, qualidade e dinamicidade limitadamente. As ideias desenvolvidas com relação as representações simbólicas (figuras e equações) e os invariantes operatórios nos *minibooks* são apresentados satisfatoriamente, embora, faltem alguns elementos importantes nas situações com demonstrações incompletas.	7 = R
1					
2	X	X			
3			X		
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 51 - Lapbook da dupla 13.

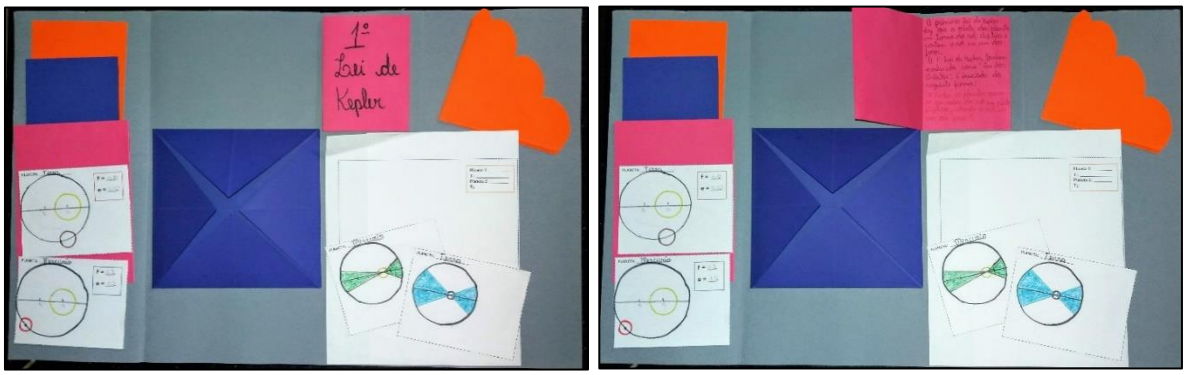
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 19 - Análise da dupla 13 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	**Critérios**			**Análise**	**Pontuação/ Conceito**
	D	P	A	O trabalho apresentado está incompleto, não possuindo criatividade, organização, qualidade e dinamicidade, ou seja, insuficiente. Os alunos não conseguiram desenvolver suas atividades e ideias satisfatoriamente dentro do tempo trabalhado, referente as representações simbólicas e os invariantes operatórios dos conceitos abordados mostrando não compreendê-los.	3 = I
1	X	X	X		
2					
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 52 - *Lapbook* da dupla 14.



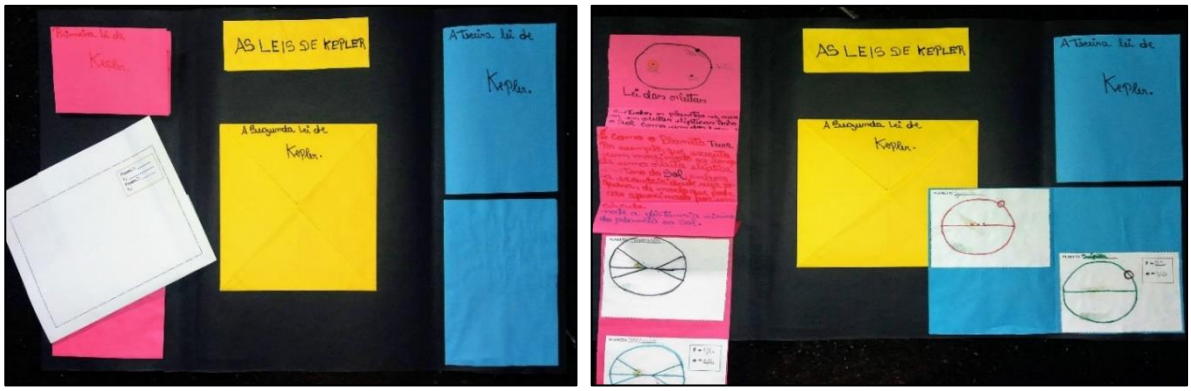
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 20 - Análise da dupla 14 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho apresentado está incompleto, não possuindo criatividade, organização, qualidade e dinamicidade, ou seja, insuficiente. Os alunos não conseguiram desenvolver suas atividades e ideias satisfatoriamente dentro do tempo trabalhado, referente as representações simbólicas e os invariantes operatórios dos conceitos abordados mostrando não compreendê-los.	3 = I
1	X	X	X		
2					
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 53 - *Lapbook* da dupla 15.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

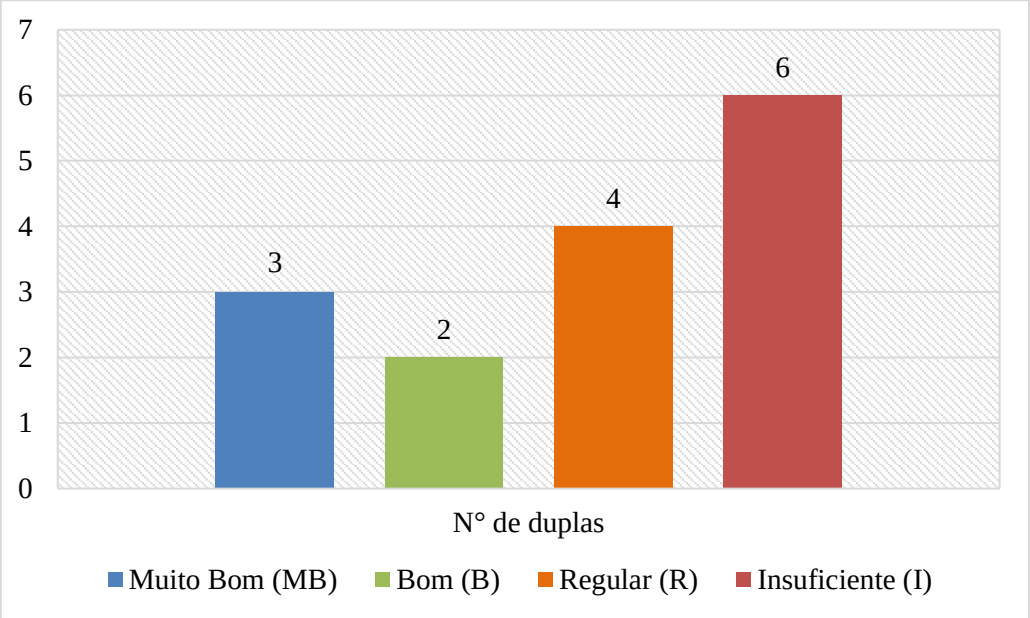
Quadro 21 - Análise da dupla 15 com relação aos níveis e critérios de aprendizagem.

Níveis	Critérios			Análise	Pontuação/ Conceito
	D	P	A	O trabalho apresentado está incompleto, não possuindo criatividade, organização, qualidade e dinamicidade, ou seja, insuficiente. Os alunos não conseguiram desenvolver suas atividades e ideias satisfatoriamente dentro do tempo trabalhado, referente as representações simbólicas e os invariantes operatórios dos conceitos abordados mostrando não compreendê-los.	3 = I
1	X	X	X		
2					
3					
4					
5					

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Fazendo uma análise geral diante dos resultados apresentados anteriormente, através dos gráficos abaixo, pôde-se obter uma visão da aprendizagem dos alunos diante dessa ferramenta avaliativa.

Gráfico 7 - Número de duplas com relação aos conceitos de aprendizagem.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

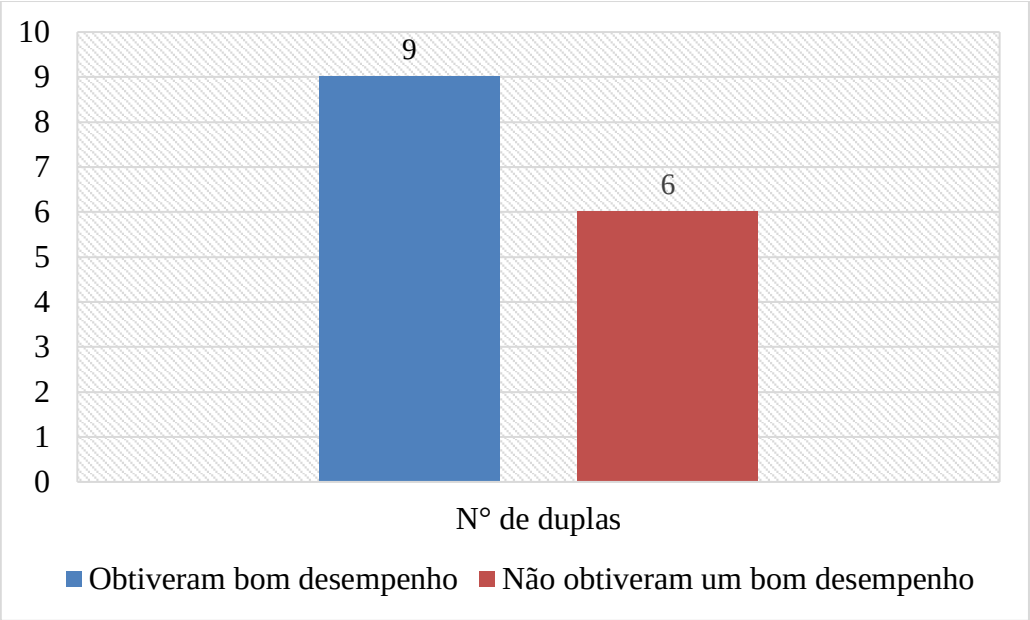
Os dados acima, relatam os conceitos de aprendizagem atingidos pelas duplas na elaboração de seus *lapbooks*, podemos descrever essas análises como: 3(três) duplas (6 alunos) obtiveram o conceito Muito Bom (MB), onde os alunos apresentaram resultados e competências além do esperado; 2 (duas) duplas (4 alunos) o conceito Bom (B), em que os resultados dos alunos são satisfatórios; 4 (quatro) duplas (8 alunos) o conceito Regular (R), em que os resultados apresentados são parcialmente satisfatórios; 6 (seis) duplas (12 alunos) o conceito Insuficiente (I), os resultados apresentados e desempenhos são insuficientes.

Outra observação importante a ser pontuada, com relação a essa análise, se deve ao fato dos *lapbooks* 11, 12, 13, 14 e 15 estarem incompletos, devido ao fato de que os primeiros (11, 12 e 13) não foram concluídos no tempo estabelecido, em consequência da falta de compreensão e apropriação com a técnica, e os outros (14 e 15), por se ausentarem da última aula de aplicação da oficina.

Entretanto, é importante enfatizar que os três primeiros conceitos apontam para um bom desempenho dos estudantes com essa ferramenta didática, enquanto o

último conceito representa que os mesmos não conseguiram obter um bom desempenho com a técnica utilizada. Observe o gráfico:

Gráfico 8 - Desempenho das duplas com a técnica.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nesta comparação de resultados apresentados pelas duplas, podemos perceber que 9 (nove) duplas (18 alunos) conseguiram assimilar e desenvolver o trabalho satisfatoriamente, estando em MB, B e R. Enquanto, 6 (seis) duplas (12 alunos) apresentaram dificuldades em manipular a técnica e aplicar os conceitos já aprendidos anteriormente em outras situações, e estendê-los para demonstrações eficazes obtendo assim conceito insuficiente (I). Essas dificuldades encontradas podem ser justificadas e pontuadas para alguns alunos pelo fato dos mesmos não terem comparecido em aulas anteriores prejudicando assim o seu desempenho didático.

Com relação a análise conceitual dos invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) desenvolvidas pelas duplas em seus *minibooks*, podemos observar no quadro a seguir os conceitos formulados e a identificação ou não desses possíveis invariantes operatórios da TCC de Vergnaud.

Quadro 22 - Invariantes operatórios apresentados pelas duas duplas nos *minibooks*.

Duplas	**Transcrição das respostas dos invariantes operatórios das situações apresentadas**	**Análise a partir da TCC**
Dupla 1	1° Lei de Kepler - "Quando o planeta faz uma **trajetória elíptica** em torno do Sol." 2° Lei Kepler - "A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta é **diretamente proporcional ao tempo** gasto para descrevê-la." "Equação: $\frac{A^1}{At^2} = \frac{A^2}{At^2}$" 3° Lei de Kepler - "O quadrado do **período de revolução** de um planeta em torno do Sol é **diretamente proporcional ao cubo do raio**." "Equação: $\frac{t^2}{R^3} = k\ ou\ t^2 = k \cdot R^3$ Onde: t = tempo de translação; R = raio do planeta; k = uma constante (=)."	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação ("trajetória elíptica", "área", "raio vetor", "diretamente proporcional ao tempo", "período de revolução" e "diretamente proporcional ao cubo do raio") e teoremas–em–ação (sublinhados e equação), que unidos formam os invariantes operatórios demonstrados nos enunciados das duas primeiras leis. Porém, apresentando uma inconsistência na equação da segunda lei, que em sua forma correta é escrita como: $\frac{A^1}{\Delta t^1} = \frac{A^2}{\Delta t^2}$. Na terceira lei é possível identificar conceitos e teoremas científicos, tanto no enunciado da lei, quanto nas demonstrações das equações. No geral, em seus conceitos há elementos pertinentes que se identificam com as situações trabalhadas anteriormente.
Dupla 2	1° Lei de Kepler - "As **órbitas** dos planetas em torno do Sol são **elipses** nas quais **ele ocupa um dos focos**. Numa **elipse** há dois focos e a soma das distâncias dos focos é constante." 2° Lei de Kepler - "A **área descrita pelo raio vetor** de um planeta (linha imaginária que liga o planeta ao Sol) é **diretamente proporcional ao tempo** gasto para descrevê-la." 3° Lei de Kepler - "O **quadrado do período da revolução** de um planeta em torno do Sol é **diretamente proporcional ao cubo do raio médio** de sua **elipse orbital**."	A dupla desenvolve em suas respostas, conceitos-em-ação ("órbitas", "elipses", "área", "raio vetor", "diretamente proporcional ao tempo" e "quadrado do período de revolução") e teoremas-em-ação (sublinhado) que são significantes ou representações fortes do que é cobrado cientificamente para esses conceitos. No geral, em seus conceitos há elementos pertinentes que se identificam com as situações trabalhadas anteriormente.

Dupla 3	1° Lei de Kepler – "Com as observações de Marte, Kepler conseguiu mostrar que o planeta orbita o Sol e esse movimento é no formato de **elipse**." "Os planetas **orbitavam em uma trajetória com forma de elipse** sendo 1 dos focos o Sol. A posição mais próxima é **periélio** e a mais distante é o **afélio**." 2° Lei de Kepler – "A segunda lei prevê que **áreas iguais** da trajetória serão varridas em **tempos iguais**. Isso porque a **velocidade do planeta ao redor do Sol é variável**." "Equação: $v = \frac{A}{\Delta t}$" 3° Lei de Kepler – "A terceira lei de Kepler é uma expressão matemática que depende do **período** com o **raio médio da órbita**. O raio médio é uma medida aritmética do raio do periélio e do raio do afélio." "Equação: $\frac{T^2}{R^3} = k$"	Nos resultados apresentados pelas duplas, observam-se conceitos-em- ação ("elipse", "áreas iguais", "tempos iguais", "período" e "raio médio da órbita") e teoremas-em-ação (sublinhado), apresentando vários aspectos relevantes ao que é cobrado cientificamente, mas, ainda com algumas inconsistências, como no enunciado da 3ª lei que embora apresente um teorema-em-ato e representações simbólicas (que permitiu demonstrar simbolicamente o conceito) com a apresentação da equação e, indicadores de conceitos-em-ação como, "período" e "raio médio da órbita", o enunciado não representa em sua integridade o conceito da lei. No geral, em seus conceitos há elementos pertinentes que se identificam com as situações trabalhadas anteriormente.
Dupla 4	1° Lei de Kepler - "O **planeta em órbita em torno do Sol** ocupa ou descreve uma **elipse** em que o **Sol ocupa um dos focos**. Esta lei definiu que as **órbitas não eram circunferências**, como se supunha até então." 2° Lei de Kepler - "A linha que liga o planeta ao Sol varre **áreas iguais** em **tempos iguais**. Esta lei determina que os planetas se movem com **velocidades diferentes**, dependendo da distância a que estão do Sol." 3° Lei de Kepler - "Os **quadrados dos períodos** de translação dos planetas são **proporcionais aos cubos dos semieixos maiores de suas órbitas**. Sendo T o **período de revolução** do semieixo maior da órbita de um planeta." "Equação: $\frac{T^2}{D^3} = k$ (com k sendo uma constante)."	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação ("elipse", "Sol ocupa um dos focos", "áreas iguais" "tempos iguais" "velocidades diferentes", "quadrado dos períodos" e período de revolução) e teoremas–em–ação (sublinhados e equação), nos enunciados das três leis, formando invariantes operatórios explícitos de conceitos cientificamente aceitos. No geral, em seus conceitos há elementos pertinentes que se identificam com as situações trabalhadas anteriormente.

Dupla 5	1° Lei de Kepler – "As leis de Kepler são três leis do movimento planetário definidas por Johannes Kepler (1571 – 1630), um matemático e astrônomo alemão. Essas leis formam a principal contribuição de Kepler a astronomia." 2° Lei de Kepler - "Sua segunda lei, conhecida como lei das **áreas**, diz que o segmento que une o centro ao Sol e um planeta varre áreas (A)." "Uma linha unindo um planeta ao Sol varre **áreas iguais** em períodos de **tempos iguais**." 3° Lei de Kepler - NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO).	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhado), apenas para o enunciado da segunda lei, com invariantes operatórios próximos do que é cobrado cientificamente. Para a primeira e terceira lei, os alunos não conseguem desenvolver seus conceitos, mostrando assim, uma não internalização conceitual nas situações apresentadas anteriormente.
Dupla 6	1° Lei de Kepler – "Os planetas descrevem **órbitas elípticas** ao redor do Sol. Nesta lei ele também afirma que o **Sol é um dos focos**." 2° Lei de Kepler – "O segmento (**raio vetor**) que une o Sol a um planeta descreve **áreas iguais** em intervalos de **tempos iguais**." 3° Lei de Kepler – "Equação: $\frac{T^2}{R^3} = k$"	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação ('órbitas elípticas", "Sol é um dos focos", "raio vetor", "áreas iguais" e "tempos iguais") e teoremas–em–ação (sublinhado e equação) formando invariantes operatórios, ou seja, significantes que são representações fortes dos enunciados das três leis. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 7	1° Lei de Kepler – "As órbitas dos planetas em torno do Sol, são **elipses** nas quais o **Sol ocupa um dos focos**." "Os planetas descrevem **órbitas elípticas** em torno do Sol." 2° Lei de Kepler – "Há **áreas** descritas pelo **raio vetor** de um planeta. **Áreas iguais** em intervalos de **tempo iguais**." "Equação: $\frac{A^1}{T^1} = \frac{A^2}{T^2}$ (para **diferentes velocidades**)" 3° Lei de Kepler – "O **quadrado do período da revolução** de um planeta em torno do Sol é **diretamente proporcional do cubo ao raio** de sua **elipse orbital**." "**Equação:** $\frac{T^2}{R^3} = constante$	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar nas três leis, conceitos-em-ação ('elipses", "órbitas elípticas", "Sol ocupa um dos focos", "raio vetor", "áreas iguais", "tempos iguais", "diferentes velocidades") e teoremas–em–ação, apresentam invariantes operatórios que se aproximam do que é cobrado cientificamente. No geral, em seus conceitos há elementos pertinentes que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.

	- Quanto mais distantes do Sol maior será o período de revolução.”	
Dupla 8	1° Lei de Kepler – “As órbitas dos planetas em torno do Sol, são **elipses** nas quais o **Sol ocupa um dos focos**.” “**Elipse** é um **círculo achatado** nas extremidades.” 2° Lei de Kepler – “A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta **são iguais**.” 3° Lei de Kepler – “Quanto mais distante do Sol **maior será o período de revolução**.”	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar apenas conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhado), para os enunciados das três leis. Porém, na 2ª e 3ª lei os conceitos e teoremas não formam invariantes operatórios, ou seja, não representam em sua totalidade os enunciados das leis. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados limitadamente que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 9	1° Lei de Kepler – “As **órbitas** dos planetas em torno do Sol são **elipses** nas quais **ele ocupa um dos focos**.” 2° Lei de Kepler – “A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta.” 3° Lei de Kepler – “O quadrado do **período da revolução** de um planeta em torno do Sol é **diretamente proporcional ao cubo do raio** de sua **elipse orbital**.”	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhado), no enunciado da primeira lei. Já o enunciado da 3° lei apresenta invariantes operatórios que se aproximam do que é cobrado cientificamente. Para o enunciado da segunda lei, os conceitos e teoremas não formam invariantes operatórios, ou seja, não representam em sua totalidade o enunciado da lei. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 10	1° Lei de Kepler – “As **órbitas** dos planetas em torno do Sol, são **elipses** nas quais o **Sol ocupa um dos focos**.” “Os planetas descrevem **ORBITAS** em torno do Sol.” 2° Lei de Kepler – “A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta (linha).” “**Áreas iguais** em intervalos de **tempos iguais**.”	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (para a 1ª lei – “órbitas”, “Sol ocupa um dos focos”; para a 2ª lei – “Áreas iguais” e “tempos iguais”; e para a 3ª lei – “período de revolução”) que se integram formando teoremas-em-ação (que estão sublinhados). Os outros conceitos–em–ação (em negrito) apresentados nos outros enunciados não formam

	3° Lei de Kepler – "O quadrado do **período da revolução** de um planeta em torno do Sol." "Quanto mais distante do Sol maior será o **período de revolução**."	teoremas-em-ação, ou seja, os alunos não conseguiram desenvolver seus esquemas o suficiente para se tornarem teoremas e por fim, invariantes operatórios. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados limitadamente que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 11	1° Lei de Kepler – "A lei das **órbitas** diz que todos os planetas se movem em **órbitas elípticas** tendo o **Sol como um dos focos**." 2° Lei de Kepler – "A 2° lei fala que **quanto mais próximo do Sol** o planeta se movimenta **mais rápido** e quando está **longe do Sol** ele é **mais lento**." 3° Lei de Kepler – "Ela mostra a relação **diretamente proporcional** entre o **período de revolução** de um planeta ao redor do Sol."	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhados), para os conceitos apresentados das três leis, ainda com algumas inconsistências, como nos enunciados da 2ª e da 3ª lei, que não representam em sua totalidade os seus conceitos reais, como no caso da segunda lei. Já para a terceira lei, os alunos apresentam apenas conceitos-em-ação não conseguindo desenvolver o suficiente para se tornarem teoremas. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados limitadamente que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 12	1° Lei de Kepler – "Quando o planeta faz uma forma **elíptica** em torno do Sol." 2° Lei de Kepler – "A **área** descrita pelo **raio vetor** de um planeta é **diretamente proporcional** ao **tempo** gasto para descrevê-la." 3° Lei de Kepler – "Equação: $^{t^2}/_{R^3} = k \; ou \; t^2 = k \cdot R^3$."	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar que os alunos apresentam representações fortes dos conceitos através dos conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhados e equação), para os enunciados das três leis. No geral, em seus conceitos há elementos apresentados que se identificam com as situações enfrentadas anteriormente.
Dupla 13	1° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO).	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhado), apenas para o enunciado da terceira lei, ainda com algumas

	2° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO). 3° Lei de Kepler – "O quadrado do **período de revolução** de um planeta em torno do Sol é **diferentemente proporcional** ao cubo do raio médio de sua **elipse orbital**."	inconsistências, quando os alunos utilizam a palavra "diferentemente" ao invés de "diretamente". Para a primeira e segunda lei, os alunos não conseguem desenvolver seus conceitos, mostrando assim, para uma visão geral, que não ouve a internalização conceitual nas situações apresentadas anteriormente.
Dupla 14	1° Lei de Kepler – "A primeira lei de Kepler diz que a **órbita** dos planetas em torno do Sol **elíptica** e contém o **Sol em um dos focos**. A 1ª lei de Kepler, também conhecida como '**lei das órbitas'**. É enunciada da seguinte forma: Todos os planetas movem-se ao redor do Sol em **órbitas elípticas**, estando o **Sol em um dos focos**." 2° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO). 3° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU E NEM REPRESENTOU SIMBÓLICAMENTE.	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhados), apenas para o enunciado da primeira lei. Ou seja, os teoremas e conceitos foram elevados para um invariante operatório cientificamente explícito. Para a segunda e terceira lei, os alunos não conseguem desenvolver seus conceitos, pois a falta de conclusão, devido a sua ausência (falta), interferiu no desempenho final do trabalho.
Dupla 15	1° Lei de Kepler – "Todos os planetas se movem em **órbitas elípticas** tendo o **Sol como um dos focos**. É como o planeta Terra por exemplo, que executa um movimento ao longo de uma **órbita elíptica** em torno do Sol, embora a **excentricidade** seja pequena, de modo que pode ser **aproximado por um círculo**." 2° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO). 3° Lei de Kepler – NÃO DESCREVEU, APENAS REPRESENTOU SIMBOLICAMENTE (DESENHO).	A partir das respostas apresentadas, podemos identificar conceitos-em-ação (em negrito) e teoremas–em–ação (sublinhados), apenas para o enunciado da primeira lei. Ou seja, os teoremas e conceitos foram elevados para um invariante operatório cientificamente explícito. Para a segunda e terceira lei, os alunos não conseguem desenvolver seus conceitos, pois a falta de conclusão, devido a sua ausência (falta), interferiu no desempenho final do trabalho.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os resultados apresentados mostram que uma boa parte dos alunos nas apresentações de seus esquemas conseguiram aplicá-los, tornando assim suas estratégias em invariantes operatórios, e em alguns conceitos apresentados, esses invariantes se aproximaram de um conhecimento científico, ou seja, observamos então que houve um

aprendizado efetivo por parte desses discentes. Entretanto, outros aprendizes não conseguiram construir argumentos suficientes para concretizar alguns conceitos, porém embora apresentassem alguns equívocos, ainda assim, foi possível captar na essência de suas respostas indícios de relações conceituais relacionadas as situações abordadas anteriormente. Essas dificuldades ainda apresentadas pelos alunos, com relação a seus esquemas para o campo conceitual em questão podem ser justificadas de acordo com Moreira (2002, p. 22):

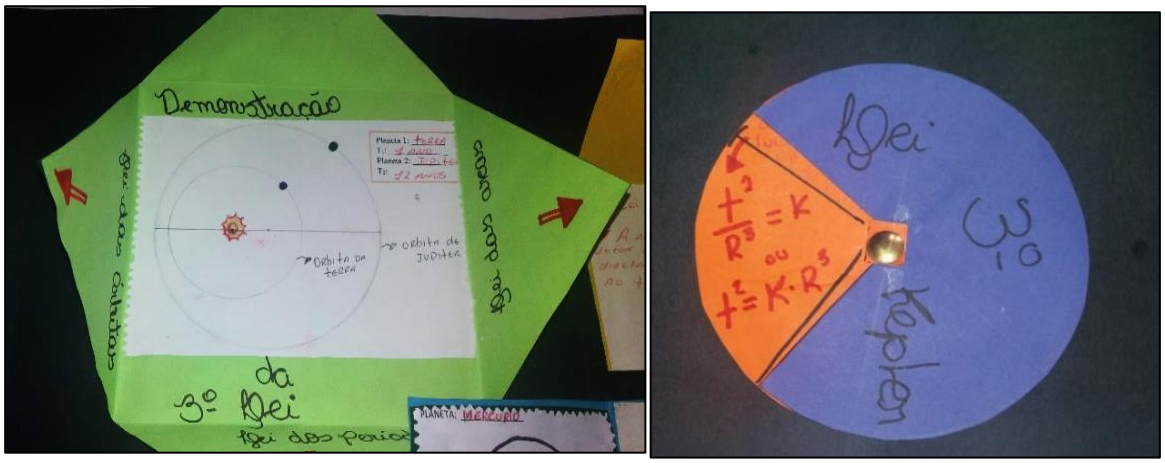
> Os alunos, em geral, não são capazes de explicar ou expressar em linguagem natural seus teoremas-em-ação, ainda que sejam capazes de resolver certas tarefas (situações). Não só alunos, qualquer pessoa muitas vezes é incapaz de colocar em palavras coisas que fazem muito bem, conhecimentos que tem. Há um hiato, entre a ação e a formalização da ação.

Em outra abordagem, o autor também afirma que:

> O domínio de um campo conceitual não ocorre em alguns meses, nem mesmo em alguns anos. Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve tentar contornar as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de um só golpe. (MOREIRA, 2011, p.206)

Além dos invariantes operatórios apresentados no *lapbook*, tiveram as representações simbólicas feitas através das demonstrações (em forma de desenhos e equações) de cada lei estudada, frisando a importância do material que leva o estudante a construir um recurso que desenvolve o significado geral de conceito para Vergnaud, que se baseia no tripleto, S, I, R.

Figura 54 - Algumas representações simbólicas produzidas pelos alunos em seus *minibook's*.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Podemos perceber também que os alunos ao mobilizarem os conhecimentos para serem inseridos em seus minilivros tiveram uma certa dificuldade no início, que de acordo com o que foi abordado anteriormente, “em geral os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos-em-ação que eles utilizam para resolver os problemas” (GRECA; MOREIRA, 2003, p. 55), nessa perspectiva, é importante enfatizar também que a utilização do *lapbook* os ajudou na compreensão não só do conteúdo proposto pela investigação, mas também dos conteúdos que fazem parte do campo conceitual envolvido, pois apresentam um vasto campo de situações em que os alunos podem elevar a formação de seus esquemas, ou seja, esse recurso promove a formação de conhecimentos explícitos que são tidos por Vergnaud (1990) como a ponta do *iceberg* da conceitualização, o aluno passa a *saber fazer* o *saber dizer*.

É importante enfatizar que as atividades (situações) diversificadas e desenvolvidas em outros momentos pedagógicos conseguiram auxiliar no processo de construção e elaboração dos conceitos apresentados pelos discentes em seus *lapbooks*, ou seja, através dessas situações os alunos puderam captar a essência dos conceitos e apropriaram-se deles como visto em seus resultados. Cabe ressaltar novamente que para Vergnaud, um conceito torna-se significativo quando surge uma variedade de situações.

Com isso, todo o processo de aplicação da oficina serviu para o enriquecimento de seus conhecimentos e esquemas, servindo também para a construção de novos esquemas no processo de ensino-aprendizagem.

4.7 Quinto momento pedagógico - Avaliação da SEI

A fim de avaliar todos os momentos pedagogicamente trabalhados em sala de aula, aplicamos um questionário aberto para 30 (trinta) alunos presentes, em que consiste de perguntas que inicialmente, buscaram identificar o pensamento ou posicionamento dos estudantes, com relação a construção da existência de invariantes operatórios da teoria trabalhada. Essa análise foi feita através das questões 1(um) e 2 (dois), que serão apresentadas abaixo (Ficha de aplicação no Apêndice F):

1) Questão 1

Conceitue de acordo com as aulas e as demonstrações as Leis de Kepler apontadas abaixo:

a) 1ª Lei; 2ª Lei; 3ª Lei.

b) As três Leis de Kepler tratam dos movimentos dos planetas. Justifique exemplificando.

2) Questão 2

Relate com suas palavras o que você entendeu sobre a proposta do tema em estudo (As Leis de Kepler).

No quadro abaixo observamos o que os alunos desenvolveram sobre essas questões e possíveis análises através da Taxonomia SOLO.

Quadro 23 - Resultados dos alunos sobre a questão 1.

Alunos	**Respostas**	**Análise**
A1	Letra (a): "Lei das órbitas – fala que a Terra faz uma volta no Sol (elíptica) completa. " "Lei das áreas – A Terra faz uma volta ao Sol em intervalos de tempos iguais e espaços iguais. " "Lei dos períodos – quanto mais próximo do Sol menor o tempo de translação, quanto mais longe, maior o tempo de translação. " Letra (b): "Sim, Kepler demonstra na primeira a volta elíptica e não circular, na segunda, que mesmo a velocidade da Terra ser maior ao chegar no Sol, os espaços são preenchidos em tempos iguais, e na terceira a harmonia entre os corpos celestes $\frac{t^2}{R^3} = K$."	R: relacional; nas respostas das duas alternativas os alunos acessam todas as informações, não havendo inconsistências nas informações; demonstra uma maior segurança em expressar seus invariantes operatórios e articula com precisão seus conhecimentos explícitos e científicos sobre o tema em questão, além de um dos alunos (A1) usar também representações simbólicas (com o uso da equação).
A2	Letra (a): "Lei das órbitas, o planeta em órbita em torno do Sol descreve uma elipse em que o Sol ocupa um dos focos. " "Lei das áreas, diz que o segmento que o centro do Sol e um planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos. " "Lei dos períodos, mostra a relação diretamente proporcional entre o período de revolução de um planeta ao redor do Sol e o raio médio da orbita do planeta. "	

	Letra (b): "Lei dos períodos, quanto mais perto está do Sol mais rápido ele percorre, e quanto mais longe mais devagar."	
A3	Letra (a): "Lei das órbitas: cada planeta gira em torno do Sol de forma diferente, como elipse." "Lei das áreas: quando mais próximo do Sol mais lento, quanto mais distante mais rápido. "Lei dos períodos." Letra (b): "A lei das órbitas e a lei das áreas são um bom exemplo para explicar o movimento dos planetas em torno do Sol, que de acordo com o tempo, quando está mais próximo do Sol o seu movimento é mais lento, quando está mais distante do Sol o seu movimento é mais devagar."	M: multiestrutural; em suas respostas, é visível que os alunos determinam com precisão o tema em questão, mas ainda apresenta dificuldades em ampliar esse conhecimento. Ou seja, o foco é correto, o aluno apresenta importantes invariantes operatórios relacionados ao campo conceitual estudado, porém, é expressado de maneira rápida e alguns termos são apresentados de forma incompleta.
A4	Letra (a): "Lei das órbitas." "Lei das áreas." "Lei dos períodos." Letra (b): "A lei das órbitas relata que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol. Nesta lei ele também afirma que o Sol é um dos focos. A lei das áreas descreve áreas iguais em intervalo de tempos diferentes. A lei dos períodos fala sobre a distância média do Sol que é igual a uma constante k."	
A5	Letra (a): "Lei das órbitas: as órbitas dos planetas em torno do Sol são elipses nas quais ele ocupa um dos focos." "Lei das áreas: a área descrita pelo raio vetor de um planeta são iguais em tempos iguais." "Lei dos períodos."	U: uniestrutural; através das respostas dos alunos podemos observar que apresentam importantes teoremas e conceitos sobe as leis estudadas, mas, como as informações são incompletas não formam invariantes operatórios, com isso, o foco no item é correto mas, o aluno

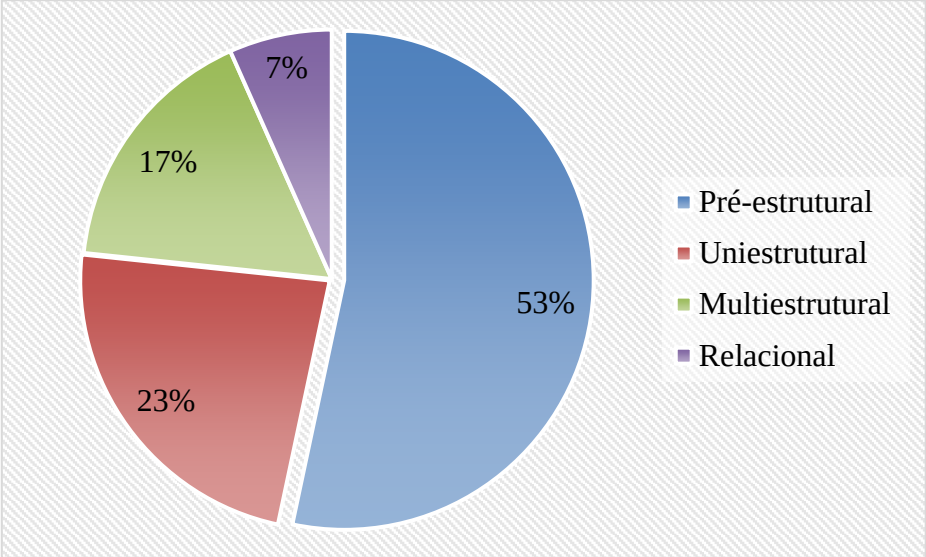
	Letra (b): NÃO CONSEGUIU DESENVOLVER O ITEM.	convoca ou dispõe de poucas informações para a sua resolução tornando-a inconsistente.
A6	Letra (a): “Lei das órbitas.” “Lei das áreas.” “Lei dos períodos.” Letra (b): “Uma das leis fala que o planeta, mais próximo do Sol o movimento é mais rápido, e quando mais longe o movimento é mais devagar.”	
A7	Letra (a): “Lei das órbitas.” “Lei das áreas.” “Lei dos períodos.” Letra (b): “Falam sobre os movimentos que os planetas fazem em torno do Sol.”	P: pré-estrutural; os aprendizes elaboram as questões em um nível aquém do solicitado, com dificuldades de focar no essencial, apresentando apenas conceitos-em-ação na primeira alternativa, e na segunda não desenvolvendo como esperado. Ou seja, os alunos não reconhecem os itens por completo e não os resolve de forma eficaz.
A8	Letra (a): “Lei das órbitas.” “Lei das áreas.” “Lei dos períodos.” Letra (b): “Lei das órbitas – fala sobre as órbitas dos planetas. Lei das áreas – fala sobre as áreas iguais. Lei dos períodos – fala sobre os períodos.”	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Importante frisar que o nível taxonômico da primeira questão era Relacional, uma vez que pedia apenas a descrição do conceito das leis estudadas sem a exigência de uma visão global dos mesmos. De acordo com os resultados foi possível observar que dois alunos alcançou o nível da questão apresentada.

O **Gráfico 9** apresenta uma visão geral dos resultados apresentados por todos os alunos da turma, com relação ao nível taxonômico de seus invariantes operatórios para a questão 1.

Gráfico 9 - Representação do nível taxonômico dos alunos na questão 1.



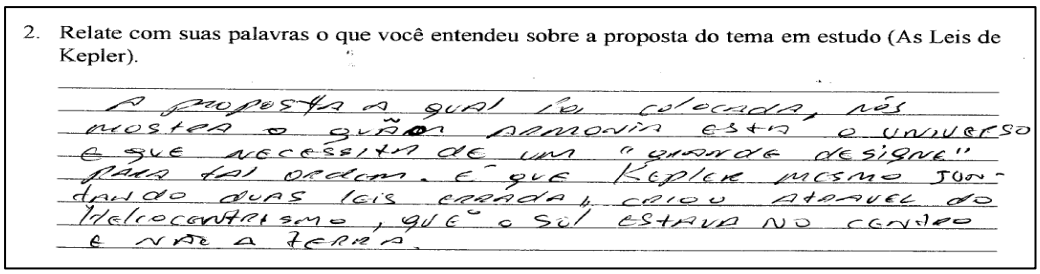
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A partir dos resultados apresentados no gráfico 9 (nove) para a primeira questão temos que: Pré-estrutural - 16 (dezesseis) alunos (53%) alcançaram este nível, em que as respostas explicitas pelos mesmos são não interpretáveis, indicando apenas os tópicos das três leis, ou em outros casos não conseguiu resolver o item; Uniestrutural - 7 (sete) alunos (23%) se encontram neste nível apresentando conceitos abstratos focando apenas em um ponto dos itens trabalhados em cada uma das leis; Multiestrutural – 5 (cinco) alunos (17%) desenvolvem as suas respostas em uma compreensão mais abstrata porém sem foco especifico, ou seja existem alguns erros ou inconsistências nos conceitos apresentados; Relacional - 2 (dois) alunos (7%) se encontra neste nível apresentando respostas mais completas e pertinentes, abordando conceitos de forma favorável ao nível ao qual a questão exige.

A respeito dos conceitos apresentados nesta etapa da sequência podemos perceber que houve uma melhora significativa nos conceitos científicos apresentados por alguns alunos, enquanto outros ainda apresentam dificuldade em expressar certos conceitos, levando a uma informação imprecisa, o que foi visível também nos resultados de outros alunos da turma.

Para a segunda questão obtivemos os seguintes resultados também analisando-os aos níveis taxonômicos:

Figura 55 - Resposta do aluno 1 para a questão 2.

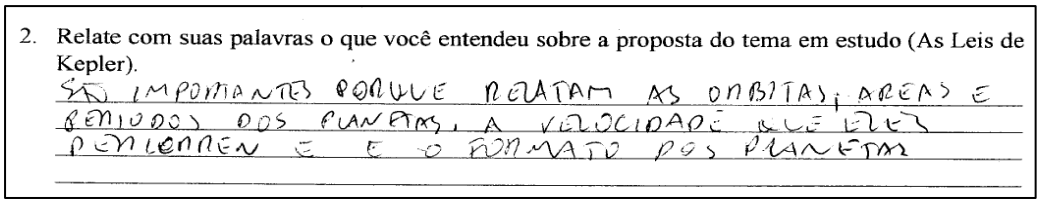

2. Relate com suas palavras o que você entendeu sobre a proposta do tema em estudo (As Leis de Kepler).

A proposta a qual foi colocada, nós mostra o quão harmonia está o universo e que necessita de um "grande designe" para tal ordem. E que Kepler mesmo juntando duas leis erradas, criou através do Heliocentrismo, que o Sol estava no centro e não a Terra.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A) Transcrição da resposta do aluno 1: "A proposta a qual foi colocada, nos mostra em quão harmonia está o universo e que necessita de um "grande *designer*" para tal ordem. E que Kepler mesmo juntando duas leis erradas, criou através do Heliocentrismo, que o Sol estava no centro e não a Terra."

Figura 56 - Resposta do aluno 2 para a questão 2.


2. Relate com suas palavras o que você entendeu sobre a proposta do tema em estudo (As Leis de Kepler).

São importantes porque relatam as órbitas, áreas e períodos dos planetas, a velocidade que eles percorrem e o formato dos planetas

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

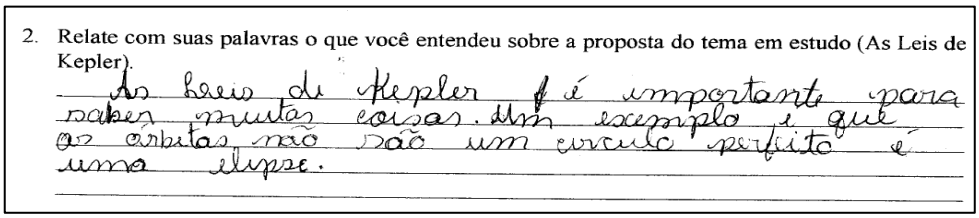
B) Transcrição da resposta do aluno 2: "São importantes porque relatam as órbitas, áreas e períodos dos planetas, a velocidade que eles percorrem e o formato dos planetas."

Com relação as respostas citadas, observamos que há evidências de aprendizagem do campo conceitual trabalhado, pois os alunos apresentam a capacidade de adaptar e relacionar as informações obtidas em todas as situações vividas a conceitos mais gerais, e isso é evidenciado quando: o aluno 1 - fala sobre a "harmonia do universo" (dando uma referência sobre a terceira lei estudada), e indica a seguinte afirmação "E Kepler juntando duas leis erradas"[10], um novo esquema formado; o aluno 2 - destaca os enunciados das três leis (conceitos-em-ação) em sua resposta e outras informações como "velocidade" e "formato dos planetas" (um termo equivocado usado pelo aluno para indicar a órbita dos

[10]As duas "leis erradas" citadas no comentário do aluno se referem justamente a alguns resultados coletados por Kepler para ele chegar a Lei das áreas.

planetas). Entretanto, no geral as proposições apresentadas pelos aprendizes mostram a ativação de esquemas diversos, levando para um novo quadro com características mais abstratas, representando um novo e elevado modo de operação e novos esquemas gerados, caracterizando o nível taxonômico das respostas como o Abstrato Estendido.

Figura 57 - Resposta do aluno 4 para a questão 2.


2. Relate com suas palavras o que você entendeu sobre a proposta do tema em estudo (As Leis de Kepler).
As leis de Kepler é importante para saber muitas coisas. Um exemplo é que as órbitas não são um circulo perfeito é uma elipse.

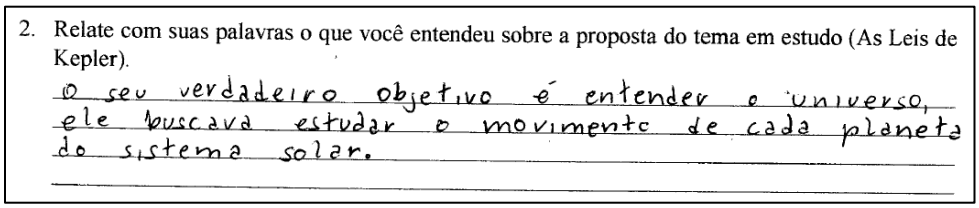
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

C) Transcrição da resposta do aluno 4: "As Leis de Kepler é importante para saber muitas coisas. Um exemplo é que as órbitas não são um círculo perfeito é uma elipse. "

D) Transcrição da resposta do aluno 21: "Eu entendi que cada um criou sua teoria e que Kepler foi o mais estudado, as órbitas são elipses, e o Sol é o centro do sistema solar."

Através das respostas apresentadas pelos aprendizes, observamos que existem relações estabelecidas com os temas estudados, tornando-as uma estrutura coerente com aspectos conceituais importantes, como: "as órbitas não são um círculo perfeito é uma elipse", "as órbitas são elipses" e "o Sol é o centro do sistema solar", que são conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, formando invariantes operatórios. Apenas não estabelecendo uma visão global com relação a outras leis, levando os alunos a se encontrarem em um nível taxonômico Relacional.

Figura 58 - Resposta do aluno 3 para a questão 2.


2. Relate com suas palavras o que você entendeu sobre a proposta do tema em estudo (As Leis de Kepler).
O seu verdadeiro objetivo é entender o universo, ele buscava estudar o movimento de cada planeta do sistema solar.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

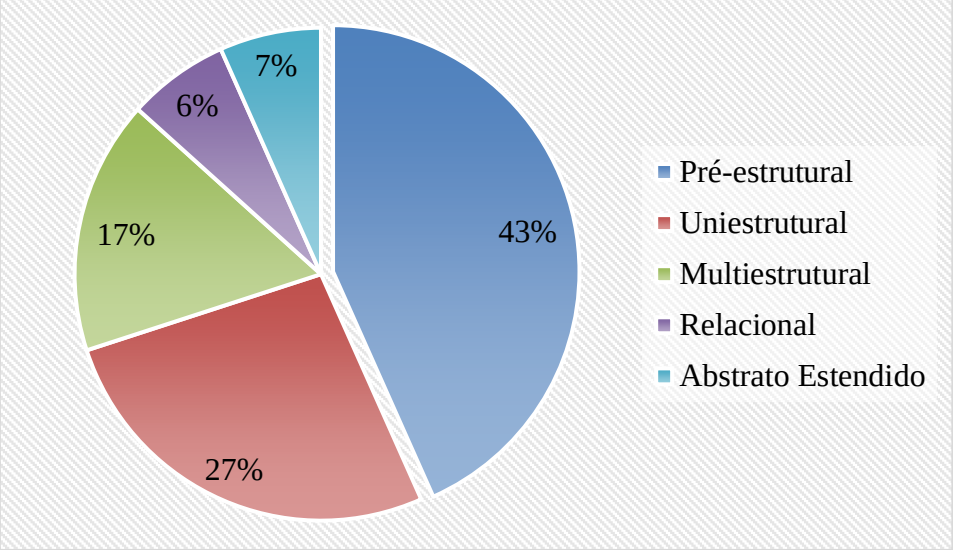
E) Transcrição da resposta do aluno 3: “O seu verdadeiro objetivo é entender como o sistema solar era formado, ele buscava estudar o movimento de cada planeta do sistema solar.”

F) Transcrição da resposta do aluno 10: “Que essas leis foram as principais contribuições de Kepler à astronomia e a astrofísica.”

Para as respostas dos alunos, apresentam aspectos relevantes sobre o tema estudado como “O seu verdadeiro objetivo é entender como o sistema solar era formado” e “essas leis foram as principais contribuições de Kepler à astronomia e a astrofísica”, porém contendo algumas inconsistências por não mostrar indícios mais diretos dos conceitos das três leis. Contudo, os estudantes não se expressam de maneira objetiva ao que foi perguntado sendo impossível identificar com clareza o seu entendimento através de seu conceito formulado, estando em um nível taxonômico Multiestrutural.

O gráfico a seguir apresenta o resultado geral de todos os alunos da turma, com relação ao nível taxonômico de seus invariantes operatórios para a questão 2.

Gráfico 10 - Representação do nível taxonômico dos alunos na questão 2.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para a segunda questão temos que os dados apresentados foram de: 13 (treze) alunos (43%) em um nível Pré–estrutural; 8(oito) alunos (27%) no nível Uniestrutural; 2 (dois) alunos (6%) no nível Relacional; 2 (dois) alunos (7%) no nível Abstrato Estendido.

Esta atividade exigia dos alunos um relato a partir dos seus entendimentos sobre os conceitos estudados, porém a partir dos dados apresentados é visível que para

esta questão houve alunos que conseguiram desenvolver a ativação de esquemas diversos que promoveram um melhoramento em suas respostas, enquanto outros estudantes tiveram dificuldades de explicitarem os seus **conceitos-em ação e teoremas-em-ação**.

Diante disso, com relação ao desempenho dos alunos neste trabalho, percebe-se que houve uma familiarização dos alunos com o campo conceitual estudado, que só foi possível através das diversas situações-problemas aplicadas nesta SEI para que os mesmos constituíssem seus próprios conceitos relacionados ao tema estudado (por meio da construção dos invariantes operatórios que dão significado a estes conceitos) e apresentação de indícios que acrescentaram conhecimentos na estrutura cognitiva, no sentido de que houve aprendizagem com os conceitos usados e as ligações entre eles.

Contudo, com a aplicação desta SEI não se esperava que em um curto espaço de tempo (10 aulas) os alunos pudessem ter dominado completamente o campo conceitual do tópico trabalhado, porém, buscou-se acreditar que as situações selecionadas e apresentadas em sala de aula conseguiram ajudar a atribuir sentidos aos conceitos, e princípios associados as Leis de Kepler, que os esquemas (dos alunos) tenham se enriquecido e que diante de futuras vivências possam se tornar significativos.

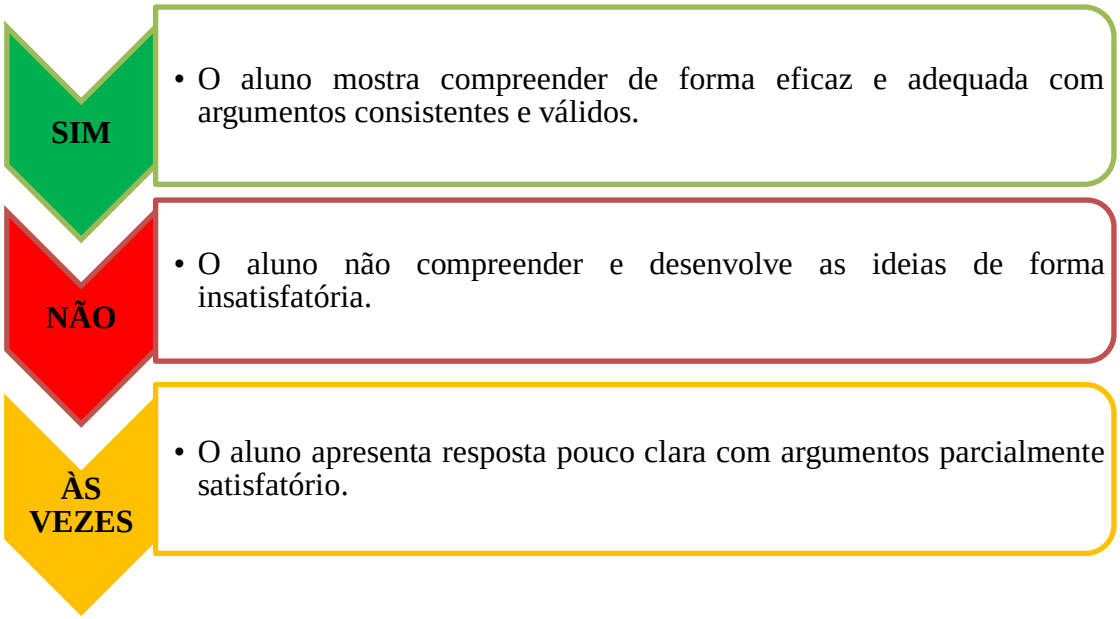
4.7.1 Avaliação Formativa (Aspectos Qualitativos)

A outra parte do questionário aberto, que corresponde as questões 3, 4 e 5, se deu a questionamentos referentes a como os alunos avaliaram a aplicação do projeto "As Leis Kepler" juntamente com a oficina de construção do *Lapbook*, que são compreendidos como aspectos qualitativos analisando a formação pessoal e interpessoal do aluno. As perguntas são apresentadas da seguinte forma:

3) Questão - Quais os pontos positivos e negativos da oficina?
4) Questão – Quais sugestões você daria para melhorar esse método?
5) Questão – Que conclusão você chegou sobre a relevância das Leis de Kepler para o homem como um ser social?

Em geral, na avaliação qualitativa desta parte da atividade, foi considerado de forma mais detalhada os aspecto apontados pelos indicadores de avaliação apresentados para cada questão, e analisados sobre três critérios, demonstrados na imagem abaixo:

Figura 59 - Critérios da avaliação qualitativa.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nos **Quadros 24** a **26** são apresentadas as respostas e análises dos alunos para as alternativas apontadas acima.

Quadro 24 - Análise das respostas apresentadas pelos alunos para a questão 3.

Questão	Indicadores	Transcrição da resposta dos alunos	O aluno está de acordo com algum (uns) dos indicadores apresentados?		
			SIM	**NÃO**	**ÁS VEZES**
3. Quais os pontos positivos e negativos da oficina?	➢ Soube se sobressair em diferentes contextos apresentados; ➢ Apresenta interesse/ satisfação com o projeto aplicado; ➢ Desenvolve com criatividade e apresenta aspectos importantes que agregam o conhecimento social para a melhoria do projeto; ➢ Apresenta de forma coerente e significativa o aprimoramento do conhecimento; ➢ Tem potencial de desenvolver algo com autonomia; ➢ Interesse em dispor de critérios e registros pessoais para emitir um juízo de valor sobre o próprio desempenho; ➢ Desenvolve suas respostas de forma questionadora;	**Aluno 1**: "Positivo – Nos mostra de maneira clara as propostas da Astronomia. Negativo – O tempo ao qual foi aplicado e a falta de seriedade dos alunos."	X		
		Aluno 2: "Positivo – O projeto é bom e facilita o aprendizado. Negativo – Deveria ter mais tempo para produzir."	X		
		Aluno 3: "Positivo – Aula prática de modo diferenciado das outras aulas. Negativo – Não foi possível fazer a conclusão do *lapbook*."	X		
		Aluno 4: "Positivo – Aprendemos de forma dinâmica."	X		
		Aluno 5: "É uma forma da gente aprender e se divertir com tudo e conhecer mais de uma forma diferente, porém, isso não é frequente, seria uma ótima forma de aprender".	X		
		Aluno 6: "Positivo – É que aprendemos e tentamos. Negativo – Devia ter mais tempo."			X
		Aluno 7: "Positivo - Aprendemos muito mais sobre o nosso sistema solar, e também sobre nossos planetas. Negativo –Aulas cansativas."	X		
		Aluno 8: "Positivo – Aprendi muito mais sobre o conteúdo."	X		
		Aluno 9: "Positivo – Ajudou a ampliar meu conhecimento no conteúdo."	X		
		Aluno 10: "Positivo – A professora explica bem e sempre tá ajudando."	X		
		Aluno 11: "Positivo – É que aprendemos e tentamos. Negativo - Mais tempo para a construção do *lapbook.*"			X
		Aluno 12: "Positivo – Foi ótimo, aprendemos bastante. Negativo – Deveria ter mais tempo para confeccionar o *lapbook*."	X		
		Aluno 13: "Positivo – É que aprendemos e tentamos. Negativo – Deveria ter mais tempo para aprendermos mais sobre as leis de Kepler."			X
		Aluno 14: "Negativo – Mais tempo para produzir o *lapbook*."			X

	➢ Segurança na própria capacidade de construir ideias, desenvolvendo a autoestima e a perseverança na busca de soluções; ➢ Apresenta em sua resposta aprendizagem, valorizando o trabalho desenvolvido; ➢ Explica e comunica de forma eficaz apresentando argumentos cabíveis no projeto aplicado.	**Aluno 15**: "Positivo - Trabalho em dupla, construção do Lapbook e desenvolvimento de criatividade. Negativo – Alguns alunos não levaram a sério o trabalho."	X		
		Aluno 16: "Positivo – a importância de Kepler e das suas leis sobre os movimentos planetários."	X		
		Aluno 17: "Positivo – Aprendemos tudo de uma forma mais descontraída."	X		
		Aluno 18: "Positivo – Gostei de tudo. Negativo – Demorei um pouco para entender."			X
		Aluno 19: "Positivo – Aula diferenciada e muito participativa."	X		
		Aluno 20: "Positivo - Eu gostei muito da primeira lei saber mais um pouco dos planetas e etc. Negativo – Não gostei muito da terceira lei porque ainda não sei muito sobre ela."	X		
		Aluno 21: "Positivo – É uma forma da gente expressar nossa criatividade e aprender mais. Negativo – Deveria ter mais tempo para sabermos mais sobre as Leis de Kepler".	X		
		Aluno 22: "Pontos positivos são as várias explicações ótimos exemplos simples e rápidos de compreender ótimas aulas e as aulas são muito boas e negativos pra mim não tem e nem existe."	X		
		Aluno 23: "As positivas são que eu aprendi mais sobre as leis de Kepler. E os negativos eu não tenho nada a reclamar."	X		
		Aluno 24: "Não há pontos positivos e nem negativos."		X	
		Aluno 25: "Positivos – Eu aprendi muito sobre as leis de Kepler. Negativos – nenhum."	X		
		Aluno 26: "Positivo – Que eu aprendi mais. Negativo – Nenhum."			X
		Aluno 27: "Foi bom para aprender mais sobre as leis de Kepler e o ponto negativo é que não deu tempo de fazer o *lapbook*."	X		
		Aluno 28: "A positiva como aprendi sobre as leis de Kepler"			X
		Aluno 29: NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 30: NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 25 - Análise das respostas apresentadas pelos alunos para a questão 4.

Questão	Indicadores	Transcrição da resposta dos alunos	O aluno está de acordo com algum (uns) dos indicadores apresentados?		
			SIM	**NÃO**	**ÁS VEZES**
4. Quais sugestões você daria para melhorar esse método?	➢ Apresenta sugestões importantes, coerentes e significativas para o aprimoramento do conhecimento; ➢ Apresenta potencial para desenvolver algo com autonomia; ➢ Apresenta em sua resposta aprendizagem, valorizando o trabalho desenvolvido; ➢ Desenvolve com criatividade e apresenta aspectos relevantes que agregam o conhecimento social para a melhoria do projeto; ➢ Segurança na própria capacidade de construir	**Aluno 1**: "Selecionar pessoas que queiram desfrutar essa oportunidade. E apresentar outros projetos como o *Lapbook*."	X		
		Aluno 2: "Não tenho sugestões, já está bom assim."		X	
		Aluno 3: "Fazer com que as aulas se tornem mais empolgantes."			X
		Aluno 4: "Mais horários de aprendizado, fora isso foi bom."	X		
		Aluno 5: "Acho que mais professores deveriam fazer isso. Não sei sugestões para melhorar pois, já está ótimo."	X		
		Aluno 6: "Um pouco mais de tempo para a produção do *Lapbook*."	X		
		Aluno 7: "Que as aulas não fossem uma seguida da outra na maioria das vezes é cansativo."[11]		X	
		Aluno 8: "Mais aulas durante a semana."			X
		Aluno 9: "O método que o professor utilizou são bons e muito compreensíveis e fundamentais."	X		
		Aluno 10: "Sem sugestões, tudo perfeito."			X
		Aluno 11: "Mais tempo para a produção do *lapbook*."			X
		Aluno 12: "De ter mais tempo para a aplicação da oficina."			X
		Aluno 13: "De ter mais tempo para a aplicação da oficina."			X
		Aluno 14: "Mais tempo para fazer o *lapbook*."			X
		Aluno 15: "Um horário fixo na semana para estudar esse tipo de aula."	X		
		Aluno 16: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	

[11] O aluno nessa sugestão não fala com veracidade, pois, teve-se um espaço significativo de tempo entre uma aula e outra.

	ideias, desenvolvendo a autoestima e a perseverança na busca de soluções; ➢ Explica e desenvolve de forma eficaz apresentando argumentos cabíveis no projeto aplicado; ➢ Predisposição para usar os conhecimentos como recursos para desenvolver e criar soluções em contextos diversos; ➢ Interesse em dispor de tempo critérios e registros pessoais para emitir um juízo de valor sobre o próprio desempenho, de modo que se aprimore.	**Aluno 17**: "Acredito que mais professores da escola deveriam fazer esse tipo de oficinas. E mais tempo de aula, claro, envolvendo outras salas no projeto".	X		
		Aluno 18: "Nenhuma sugestão, gostei de todas as aulas."			X
		Aluno 19: "Mais aulas como essas."	X		
		Aluno 20: "Nada já está bom do jeito que está até porque não sei muito o que falar para melhorar esse método."			X
		Aluno 21: "Acho que mais professores e escolas deveriam fazer esse tipo de oficina."	X		
		Aluno 22: "Mais projetos e mais aulas na semana."	X		
		Aluno 23: "Mais tempo para terminar o *lapbook*."	X		
		Aluno 24: "Sem sugestão, foi tudo muito bom."			X
		Aluno 25: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 26: "Que foi bom falar sobre essas leis."			X
		Aluno 27: "Escolher alguns alunos e não todos pois nem todos estão dispostos a aprender."	X		
		Aluno 28: "Mais tempo para desenvolver a oficina e trabalhar com outros projetos envolvendo o Lapbook".	X		
		Aluno 29: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 30: "Nenhum, já está perfeito."			X

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quadro 26 - Análise das respostas apresentadas pelos alunos para a questão 5.

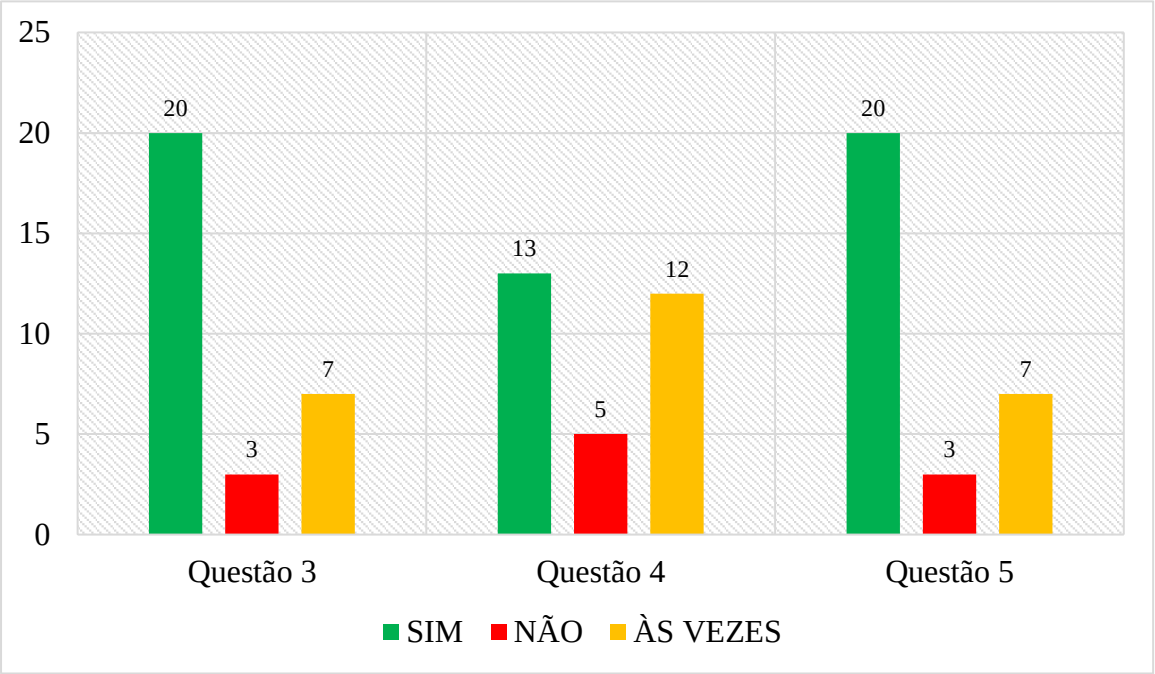
Questão	Indicadores	Transcrição da resposta dos alunos	O aluno está de acordo com algum (uns) dos indicadores apresentados?		
			SIM	**NÃO**	**ÁS VEZES**
5. Que conclusão você chegou sobre a relevância das Leis de Kepler para o homem como um ser social?	➢ Consegue problematizar o conteúdo de forma crítica e analítica; ➢ Apresenta capacidade de relacionar o conteúdo estudado com o seu cotidiano; ➢ Compreende a importância das Leis de Kepler na atividade humana e de que ela pode induzir no contexto social, científico e tecnológico; ➢ Analisa e desenvolve o tema do projeto em diferentes meios, como o social, cientifico e tecnológico;	**Aluno 1**: "As Leis de Kepler foram essenciais para sua época, e para época posteriores, porque foi ele que mesmo com todos acreditando no Geocentrismo, impulsionou o Heliocentrismo e provou que através de um pequeno achatamento do círculo, pode-se explicar fenômenos naturais, e datas exatas e repetitivas".	X		
		Aluno 2: "Através das leis de Kepler muitos fenômenos naturais e ideias foram solucionadas para o bem de todos."	X		
		Aluno 3: "O homem queria saber bastante sobre o universo, Kepler teve sua importância ao criar as leis e descobrir muitas coisas sobre o universo."	X		
		Aluno 4: "Que Kepler foi o primeiro a descobrir como de fato funciona o sistema solar."	X		
		Aluno 5: "As leis de Kepler estabeleceram de forma definitiva e correta o movimento dos planetas ao redor do Sol. Se não fosse Kepler não teríamos como compreender como o sistema solar funciona, entre outras coisas, no meio social".	X		
		Aluno 6: "Que as leis de Kepler estabeleceram de forma definida as órbitas, as áreas e os períodos dos planetas, que formam o sistema solar."	X		
		Aluno 7: "Que antes das leis nosso conhecimento era bem resumido, mas após as aulas sobre Kepler conseguimos apender bastante sobre órbitas, elipses, circunferências, áreas, períodos e formulas."	X		
		Aluno 8: "Descobrir que as órbitas são elipses."			X
		Aluno 9: "Apesar de vários cientistas também chegarem a explicar como funciona o sistema solar, somente Kepler conseguiu mostrar de forma correta ampliando o nosso campo de visão."	X		
		Aluno 10: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 11: "Que as leis de Kepler estabeleceram de forma definitiva o sistema solar."	X		
		Aluno 12: "Que as leis nos ajudaram a aprender mais sobre os planetas."			X
		Aluno 13: "As leis de Kepler estabeleceram de forma definitiva e correta o movimento dos planetas ao redor do Sol."	X		

	➢ Explica e desenvolve de forma eficaz apresentando argumentos cabíveis no projeto aplicado; ➢ Predisposição para usar os conhecimentos como recursos para desenvolver e criar soluções em contextos diversos.	**Aluno 14**: "Através das Leis de Kepler obteve-se o maior entendimento sobre o espaço, e assim podemos nos modernizar até conseguir achar um outro planeta para ser habitado futuramente".	X		
		Aluno 15: "Com base nas descobertas de Kepler foram desenvolvidas muitas coisas que nos possibilitaram atualmente a enviar naves para o espaço. E também as ideias dele não ficaram muito claras, então outro físico teve que esclarecer."[12]	X		
		Aluno 16: "Cheguei à conclusão que se não fosse Kepler, talvez o sistema solar não seria entendido da forma correta."	X		
		Aluno 17: "Bom, eu não tinha noção do processo e agora compreendi melhor."			X
		Aluno 18: "Tive uma visão diferente gostei muito da experiência."			X
		Aluno 19: "Proporcionou a criação de um sistema solar correto, além de demonstrar corretamente a órbita planetária."	X		
		Aluno 20: "Que ele foi um homem bem inteligente trabalhador e o mais importante que ele gostava do que fazia e eu acho isso muito legal até porque é bem difícil ver alguém gostar do trabalho."			X
		Aluno 21: "Se não fosse Kepler, ninguém teria compreendido de uma forma melhor as órbitas e o sistema solar.	X		
		Aluno 22: "Sem Kepler seria impossível compreender e calcular as órbitas, áreas e períodos."	X		
		Aluno 23: "Através das leis, descobriram que as órbitas dos planetas não eram circulares."	X		
		Aluno 24: "Foi uma experiência boa para termos um mundo melhor."			X
		Aluno 25: "Aprendi mais sobre o nosso sistema solar através das leis."			X
		Aluno 26: "As leis de Kepler foram importantes para saber mais sobre a translação da Terra e de outros planetas."	X		
		Aluno 27: "O homem tem que olhar por outros ângulos assim como Kepler fez sobre as pesquisas de Tycho Brahe."	X		
		Aluno 28: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 29: O ALUNO NÃO DESENVOLVEU O ITEM.		X	
		Aluno 30: "Que precisamos nos dedicar para ser bom em algo, igual Kepler."	X		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Gráfico 11 – Representação dos critérios apresentados pelos alunos nas questões.

[12] Nessa resposta quando o aluno fala sobre "ideias dele não ficaram muito claras" e "outro físico teve que esclarecer" está se referindo a Lei dos Períodos que foi utilizada por Isaac Newton para formular a Lei da Gravitação Universal.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Analisando os resultados apresentados, observamos que através da avaliação formativa da SEI, os alunos puderam se materializar nos contextos aplicados através das situações vividas entre professor – aluno como norteador do processo de ensino-aprendizagem. Para ocorrer a regulação das aprendizagens foi necessário trabalhar com procedimentos que estimularam a participação dos autores do processo. Com isso, o **Gráfico 11**, que estabelece a relação dos critérios da avaliação qualitativa das respostas dos alunos, apresenta os seguintes resultados:

- Para o critério SIM: 3ª questão – 20 alunos (67%); 4ª questão – 14 alunos (43%); 5ª questão – 20 alunos (67%).
- Para o critério NÃO: 3ª questão – 3 alunos (10%); 4ª questão – 5 alunos (17%); 5ª questão – 3 alunos (10%).
- Para o critério ÀS VEZES: 3ª questão – 7 alunos (23%); 4ª questão – 12 alunos (40%); 5ª questão – 7 alunos (23%).

De acordo com esses dados para o primeiro critério os alunos mostraram compreender de forma eficaz e adequada argumentos consistentes e válidos. Já no segundo critério, os discentes apresentaram em suas respostas não compreender os processos e desenvolveram suas ideias de forma insatisfatória. E por fim, para o terceiro critério os alunos apresentaram respostas pouco claras e com argumentos parcialmente satisfatórios.

Com isso, foi comprovado que existiu uma aprendizagem significativa com respostas objetivas e positivas mostrando ser uma prática diversificada levando os alunos a estabelecerem relações para soluciona-las, conduzindo-os para o desenvolvimento de suas competências. Relacionando a TCC de Vergnaud com reflexão anterior é visível que os resultados apresentados formaram representações simbólicas, estruturadas pelos conceitos apresentados em suas respostas, relacionadas aos invariantes operatórios construídos a partir de seus esquemas, e principalmente dos conjuntos de situações vivenciados por eles nos contextos, isto é havendo múltiplas realidades resultantes dessas construções.

Os desempenho dos alunos em todo o processo da SEI foi analisado conforme seis critérios (assiduidade, participação, estratégia criativa, dificuldade de aprendizagem, problemas de relacionamento e indisciplina), veja no **Quadro 27**:

Quadro 27 - Avaliação de desempenho dos alunos em toda a SEI.

ALUNOS	Critérios da Avaliação Desempenho (Um X será entendido como "sim")					
	Assiduidade	**Participação**	**Estratégia criativa**	**Dificuldade de aprendizagem**	**Problemas de relacionamento**	**Indisciplina**
Aluno 1	X	X	X			
Aluno 2	X	X	X			
Aluno 3	X	X	X			
Aluno 4	X	X	X			
Aluno 5	X	X	X			
Aluno 6	X	X				
Aluno 7	X	X				
Aluno 8	X	X		X		
Aluno 9		X				
Aluno 10		X				
Aluno 11		X	X			
Aluno 12	X	X				
Aluno 13		X				
Aluno 14	X	X	X			
Aluno 15	X	X	X			
Aluno 16	X	X				
Aluno 17	X					
Aluno 18				X		
Aluno 19	X			X		
Aluno 20				X		X
Aluno 21	X	X	X			
Aluno 22	X	X	X			
Aluno 23	X			X		
Aluno 24				X		X
Aluno 25	X	X		X		
Aluno 26				X		
Aluno 27	X	X	X			
Aluno 28	X			X		
Aluno 29					X	X
Aluno 30	X	X		X	X	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

É possível observar através desses dados, que a maior parte da turma é assídua e participativa. Critérios importantes para se aferir que o desempenho geral foi satisfatório. Outros alunos não apresentaram um bom desempenho mostrando estar de acordo com os resultados das atividades aplicadas nos momentos pedagógicos da SEI.

Diante disso, é importante frisar que a dificuldade de aprendizagem apresentada por alguns alunos está relacionada as dificuldades de leitura, escrita e cognitiva, principalmente no desenvolvimento de conceitos, ou seja, foi observado nas situações aplicadas que o mesmo geralmente se encontrava em um nível taxinômico pré-estrutural, que está relacionado ao aluno que desenvolve respostas inadequadas não apresentando satisfatoriamente seus invariantes operatórios no processo e com isso não reconhece, nem desenvolve o item.

Contudo, no processo de aplicação da sequência, essas observações foram bastante pertinentes, pois permitiram apontamentos relacionados ao percurso didático vivenciado pelo discentes, possibilitando assim a avaliação integral das competências e habilidades dos objetivos dessa proposta. Em todo o processo esses critérios foram levados em consideração, tornando assim possível a identificação dos conhecimentos que estavam consolidados e serviram de base para outras situações (atividades).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos dados utilizando a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e da implementação da sequência de ensino investigativa (SEI) que se mostrou muito eficiente na condução das aulas e no desenvolvimento dos alunos, diante das mais diversas situações trabalhadas como as atividades, maquetes, mapas conceituais e a oficina de *lapbook*, os mesmos puderam explicitar seus conhecimentos e as hipóteses propostas puderam ser confirmadas, uma vez que foi possível verificar avanços e retrocessos nos teoremas e conceitos-em-ação nos resultados apresentados relacionados ao campo conceitual das Leis de Kepler.

A partir do que era previsto por Vergnaud, foi possível verificar que os avanços e retrocessos não são excludentes, pois dentro de situações diferentes que foram trabalhadas, os alunos tiveram progressos em alguns conceitos e dificuldade de assimilar em outros, considerando a complexidade do campo conceitual abordado nesta pesquisa.

Podemos perceber através dos resultados que em situações mais complexas, alguns alunos puderam aplicar seus **teoremas** e **conceitos em ação** em níveis cada vez mais elaborados, passando a confirmar os verdadeiros conceitos. Já em outros momentos, foi possível verificar que os discentes apresentaram dificuldades em explicitar seus conhecimentos, muitas vezes não compreendendo os significados dos termos, o que pode implicar na falta de compreensão dos conceitos dentro do domínio do campo conceitual das Leis de Kepler, reafirmando as ideias de Vergnaud sobre o conhecimento implícito ter um papel relevante no domínio da situação e só a explicitação desse conhecimento poderia auxiliar o aluno a avançar no campo conceitual. Algumas questões que os alunos deixaram de responder podem significar que eles não acessaram recursos operatórios, ou seja, que os esquemas não foram amplos suficientes para que os **teoremas** e **conceitos em ação** se tornassem teoremas e conceitos científicos.

Importante ressaltar também a oficina de construção do *Lapbook* como uma proposta diversificada de avaliação sobre os conceitos apresentados pelos alunos, tal recurso não foi apenas importante no sentido de ajudar os alunos a como melhor expressar seus campos conceituais, mas também a promover a relação professor-aluno no processo de ensino aprendizagem como um papel fundamental estimulando a interação dos sujeitos com as situações.

Uma das limitações desta pesquisa pode estar baseada no tempo em que a oficina de *Lapbook*, que é uma das situações foi realizada. Se a mesma tivesse sido

efetuada em um período maior de tempo, a construção dos conceitos poderia ter ocorrido de forma efetiva pelas duplas. Outra problemática foi a infrequência de alguns alunos no decorrer das aulas, levando a impossibilidade de construção dos seus campos conceituais.

Dessa forma, podemos concluir que é possível utilizar a Teoria dos Campos Conceituais como uma ferramenta de análise, pois através dela foi possível acompanhar os avanços e retrocessos dos alunos, podendo ser uma ferramenta importante para intervir no ensino e na aprendizagem dos conceitos na área da pesquisa de ensino de Física.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física**. Lisboa: Escola Editora, 2012.

AMANTES, A. **Contextualização no Ensino de Física**: Efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal, Minas Gerais, 2009.

ARAUJO, R. V. **Implementação de metodologias ativas:** aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre Acústica no Ensino Médio à Luz dos Campos Conceituais. Dissertação do Programa de Pós-Graduação - MNPEF da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2019.

ARISTÓTELES. **Wikipédia.** 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles. Acesso em: 14 out. 2019.

ASTRONOMIA NOVA. **Wikipédia.** 2017. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia_Nova. Acesso em: 15 jun. 2019.

ASTOLFI, G; LOPES JUNIOR, D. **Investigação sobre conhecimentos prévios de alunos do curso técnico em informática a partir da aplicação de organizadores prévios.** Aprendizagem Significativa em Revista. V 5 (3), p. 15 – 28, 2015.

BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning:** the SOLO taxonomy. New York: Academic Press, 1982.

BIGGS, J; COLLIS, K. Multimodal learning and the quality of intelligent behaviour. In **H. Rowe (Ed.), Intelligence, Reconceptualization and Measurement** (57–76). New Jersey: Laurence Erlbaum Assoc, 1991.

BONJORNO, José Roberto. et. al. **Física: Mecânica, 1° ano**. – 3. ed. – São Paulo: FTD, 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio.** Brasília: MEC; SEMTEC, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: **orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais.** Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

CALHEIRO, L. B.; PINO, J. C. D. **A compreensão dos conceitos da radiação eletromagnética no ensino médio à luz dos Campos Conceituais de Vergnaud**. X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de Las Ciencias, *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, n.º extraordinario, p. 4395-4400, 2017.

CANALLE, J. B. **O Problema do Ensino da órbita da Terra**. Revista Física na Escola, v. 04, n. 2, p. 12 – 16, 2003.
CANALLE, J. B; MATSSURA, O. T. **Manual de Astronomia**. – Rio de Janeiro: Sinergia, 2012.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. **Ciências no ensino fundamental**: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 1998.

CARVALHO, A. M. P. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. v. 18 (3). p. 765-794, 2018.

CARVALHO, A. M. P. *et al*. **Ensino de física**. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

CARVALHO FILHO, J. C. **Astronomia: Interdisciplinar** / Joel Câmara de Carvalho Filho, Auta Stella de Medeiros Germano. – Natal, RN: EDUFRN, 2007.

FEYNMAN, R. P. **Lições de física de Faynman**. Porto Alegre: Bookman. 2008.

FESTA, F. **Proposta Didática para desenvolver o tema da Supercondutividade**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação - MNPEF da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2019.

GLEISER, M. **Cartas a um jovem cientista**: o universo, a vida e outras paixões. Alta Books, Rio de Janeiro. 2017.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. **Do saber fazer ao saber dizer:** uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de física. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.5, n. 1, p. 52-67, mar. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/epec/v5n1/1983-2117-epec-5-01-00052.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. **Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora**. Investigações em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 31-53, mar. 2002.

HALLYDAY, D. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HARMONICES MUNDI. **Wikipédia**. 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Harmonices_Mundi. Acesso em: 14 out. 2019.

HOFFMANN, D. M. **Gravitação Universal**: estratégias para seu estudo. Cadernos PDE, Paraná, v. I, 2013.

HOLTON, G. J.; BRUSH, S. G.; PERIS, J. A. **Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas**. Trad. J. Aguilar Peris e Colaborador Stephen G. Brush. 2a. Ed. Editora Reverte, 1993.

JOHANNES KEPLER, **Wikipédia**. 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler. Acesso em: 15 jun. 2019.

KEPLER, S. O; SARAIVA, M. F. **O. Astronomia e Astrofísica.** Departamento de Astronomia - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

KOESTLER, A. **O homem e o universo**: como a concepção do universo se modificou através dos tempos. São Paulo: Ibrasa, 1989.2ª ed.

LIMA, J.; PACHECO, M. H.; ZANELLA, M. S. **O ensino de Física mediado pela Teoria dos Campos Conceituais: um estudo teórico**. II Colóquio Internacional sobre a Teoria dos Campos Conceituais. Porto Alegre, 2017.

LIMA, M. S.; SANTOS, J. V. C.; CAMPO, T. M. M. **O Campo Conceitual do Cálculo Diferencial Sob o Olhar de Professores.** In: II Colóquio Internacional sobre a Teoria dos Campos Conceituais, Porto Alegre, 2015.

MARQUES, F. C. *et al.* **Física mecânica**. Barueri, SP: Manole, 2016.

MARANHÃO. Secretaria do Estado da Educação. **Orientações normativas para o funcionamento das escolas.** São Luís: SEEMA, 2015.

MARANHÃO. Governo do Estado. Secretaria de Estado da Educação. **Orientações curriculares para o ensino médio:** caderno de física / Coordenação Albelita Lourdes Monteiro Cardoso, Nádya Christina Guimarães Dutra, Silvana Maria Machado Bastos. — São Luís, 2018.

MARTINS, D. L.; SANTOS, F. A. **Ensino de radiação térmica associada ao efeito estufa na perspectiva da teoria dos campos conceituais de Vergnaud.** Revista do Professor de Física, v. 3, n. especial, 2019.

MOREIRA, M.A. **Modelos mentais**. Investigações em Ensino de Ciências. 1(3):193-232. 1996.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais no ensino de Física.** Instituto de Física – UFRGS, Porto Alegre, 1992.

MOREIRA, M. A. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área.** Investigações em ensino de ciências. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 7, n. 1, mar. 2002.

MOREIRA, M.A; SOUSA, C.M.S.G. **Dificuldades de alunos de Física Geral com o conceito de potencial elétrico.** Projeto de pesquisa em andamento. 2002.

MOREIRA, M. A., **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa**. Instituto de Física da UFRGS. Porto Alegre, 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2011.

NASCIMENTO, S. S. B. **Produto Educacional:** Sequência de Ensino Investigativa "Onde está o ar?". IFG, Jataí. 2018. Disponível em: https://www.ifg.edu.br/attachments/article/1279/Produto-2016-Stephany-Siqueira-Barbosa-Nascimento-(.pdf520kb).pdf. Acesso em:15 jun. 2019.

NOVAK, J. Retorno a clarificar con mapas conceptuales. Em: **Encuentro Internacional sobre el aprendizaje significativo.** Burgos: Servivio de Publicaciones de la Universidad de Burgos. 1997.

NOGUEIRA, L. M.; FERREIRA, R. S. Análise de invariantes operatórios dos esquemas de estudantes do ensino médio em situações de probabilidade. **Encontro Nacional de Educação Matemática. Educação Matemática na Contemporaneidade**: desafios e possibilidades. São Paulo, 2016.

NOGREIRA, S.; CANALLE, J. B. G. Astronomia: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. Movimento dos planetas. 21 ago. 2006. Disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm. Acesso em: 15 jun. 2019. PEDRISA, C. M. **Características históricas do ensino de ciências.** Ciência & Ensino, Campinas, n. 11, p. 9-12, 2001.

OLIVEIRA, J. G. **Saber Atualizado**. 2019. Disponível em: https://www.saberatualizado.com.br/2018/09/encontrada-carta-de-galileu-mostrando.html. Acesso em: 15 jun. 2019.

PEDUZZI, L. V. Q. **Evolução dos conceitos da Física. Força e Movimento**: de Thales a Galileu. Departamento de Física (Publicação interna), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A. **Física – ciência e tecnologia: Mecânica**. Editora Moderna, São Paulo, v.1, 2005.

PEREIRA, V. C. A. S. **Aplicação da Taxonomia SOLO na análise da qualidade da avaliação. Validação do método analítico por aplicação aos exames nacionais de Matemática A entre 2006 e 2014**. VOLUME I. Tese (Doutorado em Didática da Matemática) – Universidade da Beira Interior – Ciências. Covilhã, p. 175. 2019.

PERRENOUD, P. **Dez novas Competências para ensinar.** Tradução: Patrícia Chittoni Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

PIAGET, J. **Psicologia da inteligência.** La ed. 1947. trad. N. C. Caixeiro. Rio de Janeiro, Zahar, 1977.

PIAGET, Jean. **Biologia e Conhecimento**. 2ª Ed. Vozes: Petrópolis, 1996.

PLAISANCE, E; VERGNAUD, G. **As Ciências da Educação**. São Paulo: Loyola, 2003.

PORTO, C. M.; PORTO. M. B. D. S. M. **A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 30, n. 4, 2008.

PTOLOMEO, C. **Las hipótesis de los planetas**. Madrid. Alianza Editorial, 1987.

RUTHERFORD, F. J.; HOLTON, G.; WATSON, F. G. **The project physics course**. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1970.

ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das ideias da física.** Salvador: EDUFBA. 2011.

ROCHA, H. C.; CATARINO, G. F. C. **Kit experimental para ensino do eletromagnetismo:** uma proposta de produto educacional. Revista de Educação, Ciência e Matemática, v. 9, n. 1, 2019.

ROGERS, A. **Lap Books for Learning.** Home schooling ilimitado. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Lap_book. Acesso em: 08 ago. 2018.

SANTOS, A. V.; FONTANA, R.; RODRIGUES, J.; MEGGIOLAR, G. P. **Uma aplicação de campos conceituais no ensino interdisciplinar de Astronomia na Física e na Matemática no Ensino Médio**. Areté, Manaus, v. 12, n. 26, 2019.

SILVA, J. A.; SOUSA, C. M. S. G. **O modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível Médio**. Ciência & Educação (Bauru), Bauru, i. 20, n. 1, p. 23-41, jan./mar. 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320140010003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.phpcscript=sci_arttext&pid=S1516-73132014000100003&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 22 out. 2019.

SILVA, J. C.; GARCIA, I. K.; TELENTINO NETO, L. C. B. **O ensino da física térmica e o forno solar: uma revisão.** Revista Thema, Ciências Exatas e da Terra, v. 14, n. 3, p. 222 – 240, 2017.

SILVA, V. R. R. **Sequencias Didáticas para o ensino das Leis de Kepler**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda – RJ, 2017.

SOUSA, C. M. S. G. **A Resolução de Problemas e o Ensino de Física**: Uma Análise Psicológica. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília, 2001.

SOUZA, Y. L. Heliocentrismo. Info Escola. [entre 2006 e 2019]. Disponível em: https://www.infoescola.com/astronomia/heliocentrismo. Acesso em: 15 jun 2019.

STEINER, J. E. **Origem do universo e do homem**. Instituto de Estudos Avançados, USP, São Paulo, 2006.

TÉCNICA DE ENSINO: **Lapbooks: o que são?** [2018] Disponível em: http://rosaneanne.blogspot.com/p/tecnica-de-ensino-estrategia-do-pqa-ao.html?m=1. Acesso em: 10 ago. 2018.

TIPLER, P. A.; MOSCA. G. **Física para cientistas e engenheiros:** mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TYCHO BRAHE, **Wikipédia**. 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe. Acesso em: 15 jun. 2019.

VERGNAUD, G. **Association Cognitive and Developmental Psychology and Research in Mathematics Education:** SomeTheoretical and Methodological Issues. For the Learning of Mathematics, v. 3, p. 31-41, 1982.

VERGNAUD, G. **La Théorie des champs conceptuels**. recherches en didactique des mathématiques, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (Ed.). **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA**, 1, 1993, Rio de Janeiro. Anais do Semiário Internacional de Educação Matemática. p. 1-26.

VERGNAUD, G. **Multiplicative conceptual field: what and why? In. Guershon, H. e Confrey, J. (Eds.).** The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics. Albany: State University of New York Press, 1994. p. 41–59.

VERGNAUD, G. b **Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. Perspectivas**. v. XXVI, n. 1, 1996.

VERGNAUD, G. **Comprehensive theory of representation for mathematics education.** Journal of mathematical behavior. v. 2, n. 17, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. ¿**En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 285-302, 2007.

VERGNAUD, Gérard. **A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar.** Tradução Maria Lucia Moro. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2009.

VERGNAUD, G. A didática é uma provocação: ela é um desafio. **In: GROSSI, E. P. (Org.). Piaget e Vygotsky em Gérard Vergnaud: teoria dos Campos Conceituais TCC**. Coleção Campos