

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

JÚNIOR SACCON FREZZA

NOÇÕES DE REFERENCIAL INERCIAL
UM ESTUDO DE EPISTEMOLOGIA GENÉTICA COM ALUNOS DE FÍSICA

Porto Alegre
2011

Júnior Saccon Frezza

NOÇÕES DE REFERENCIAL INERCIAL
UM ESTUDO DE EPISTEMOLOGIA GENÉTICA COM ALUNOS DE FÍSICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação, sob orientação da Prof^a. Dra. Tania Beatriz Iwaszko Marques.

Porto Alegre
2011

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO (CIP)

F896n Frezza, Júnior Saccon

Noções de Referencial Inercial : um estudo de Epistemologia Genética com alunos de Física [manuscrito] / Júnior Saccon Frezza. – 2011.
115 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, 2011, Porto Alegre, BR-RS.

Orientadora: Tânia Beatriz Iwaszko Marques.

1. Epistemologia genética. 2. Referencial inercial. 3. Mecânica clássica Ensino superior. I. Marques, Tânia Beatriz Iwaszko. II. Título.

CDU – 159.922.7

Bibliotecária Maria Amália Penna de Moraes Ferlini – CRB/10-449

Agradecimentos

À Dra. Tania Beatriz Iwaszko Marques, pelo amparo intelectual, pelo acompanhamento simultaneamente afetivo e desafiador e pela prestimosa orientação.

A todos os professores do PPGEduc, pela acolhida e pelos belos debates.

Aos colegas dos seminários avançados, em especial Luciano Pereira Luduvico, pelas belíssimas contribuições.

Ao Dr. Victor Paulo Barros Gonçalves e ao Luiz Carlos Gomes por suas contribuições desde a elaboração da proposta deste trabalho.

À CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

A todos meus ex-alunos que participaram deste trabalho, pela disposição e interesse em realizar as entrevistas.

Resumo

Um dos conceitos mais fundamentais na Física é a de Referencial. Isso porque, para analisar qualquer fenômeno físico, é necessária a adoção de um Referencial. No que diz respeito aos fenômenos clássicos da Física, comumente diferenciam-se dois sistemas de referência: o sistema inercial e o não inercial. Enquanto que para o primeiro são válidas e aplicáveis as leis de Newton, para o segundo ocorrem inconsistências físicas. Além disso, independentemente de um Referencial ser inercial ou não, é interessante saber o que caracteriza um Referencial. Muitas pessoas consideram que Referenciais são objetos físicos, normalmente vinculados ao seu estado de repouso em relação à Terra, por exemplo, árvores, postes, estradas, etc. Porém, um objeto por si não é um Referencial. Um Referencial é caracterizado por um ponto de origem e, sobre este, a intersecção de três retas perpendiculares entre si que darão as direções. Na Física, normalmente utiliza-se um Referencial para mensurar posição, velocidade e aceleração, que, por sua vez, são grandezas vetoriais, necessitando de módulo, direção e sentido, o que requer de um Referencial mais do que um simples ponto de origem. Assim, é interessante analisar como um sujeito que já possui um conhecimento de Física interpreta um Referencial. Neste trabalho analisei as noções de Referenciais Inerciais de sujeitos do Ensino Superior que cursam uma disciplina introdutória de Mecânica Clássica. Baseado na Epistemologia Genética, encontrei subsídios que possibilitaram compreender e analisar as noções evidenciadas pelos sujeitos. Este trabalho evidencia noções de Referencial Inercial que possibilitam ao sujeito responder a três perguntas fundamentais: o que é um Referencial? Como se diferenciam dois ou mais Referenciais? Todos os Referenciais são válidos para a Mecânica Clássica? Como resultado, foram encontradas três noções de Referencial Inercial, cada qual possibilitando ao sujeito agir sobre diversas situações da Mecânica Clássica.

Palavras-chave: Epistemologia Genética. Referenciais Inerciais. Mecânica Clássica.

Abstract

One of the most fundamental concepts in physics is of Referential. That's because, to analyze any physical phenomenon, it is necessary to adopt a Referential. With regard to the classical phenomena of the Physics, commonly differentiate two reference systems: the inertial system and non inertial. Whereas for the first are valid and apply Newton's laws, to the second physical inconsistencies occur. Moreover, irrespective of a Referential be inertial or not, it is interesting to know what characterizes a Referential. Many people believe that Referential are physical objects, usually linked to their state of rest relative to Earth, for example, trees, poles, roads, etc. However an object by itself is not a Referential. A Referential is characterized by a point of origin and, on this, the intersection of three mutually perpendicular lines that will give directions. In physics, normally used as a Referential to measure position, velocity and acceleration, which, in turn, are vectorial largeness, needing module, direction and sense, which requires a Referential more than a simple point of origin. Thus, it is interesting to analyze how a guy who already has knowledge of Physics interprets a Referential. This work analyzed the notions of Inertial Referential of subjects in higher education that attend a course introductory of Classical Mechanics. Based on Genetic Epistemology, found subsidies that make possible to understand and analyze the notions evidenced by the subjects. This work shows that notions of Inertial Referential that allow the subject to answer three fundamental questions: What is a Referential? How are differentiated two or more Referential? All Referential are valid for Classical Mechanics? As a result, found three notions of Inertial Referential, each allowing the individual to act on several situations of Classical Mechanics.

Keywords: Genetic Epistemology. Inertial Referential. Classical Mechanics.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1. CONFIGURAÇÃO DO PROBLEMA	11
2. A TOMADA DE CONSCIÊNCIA	14
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE REFERENCIAIS	25
3.1. A Mecânica Newtoniana	30
3.2. Espaço Absoluto.....	36
3.3. Referenciais Inerciais e não Inerciais	39
4. METODOLOGIA DA PESQUISA	48
4.1. Objetivos	49
4.2. Participantes	49
4.3. Procedimento de coleta de dados	50
4.4. Instrumentos para a coleta de dados	51
4.5. O método de coleta de dados.....	56
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	59
5.1. O Referencial.....	65
Nível I: Referencial é um observador	72
Nível IIA: Referencial é, em número limitado, um objeto ou um observador.....	76
Nível IIB: Referencial é, em número ilimitado, um objeto ou um observador.....	78
Nível III: Referencial desvinculado de objetos e observadores	80
5.2. A diferença entre Referenciais	82
Modelo δ I: Campo Visual	88
Modelo δ II: Referenciais diferentes para mensurar posição e velocidade	90
Modelo δ III: Posição Relativa	94
5.3. Privilegiado, Inercial ou não-Inercial?.....	96
Modelo I - O Referencial Privilegiado.....	99
Modelo II - Os Sistemas.....	101
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
7. REFERÊNCIAS	113

Introdução

Muitos professores de Física partem do pressuposto que determinados conceitos relativos à Mecânica Clássica já são conhecidos pelos seus alunos ou até não dão a devida importância, o que se verifica pelo fato de não aparecer explicitamente em exercícios propostos por eles próprios ou pelos livros em que se baseiam. Como professor de Física, percebo em meus colegas de trabalho a dificuldade de se colocar na posição do aluno e investigar as possíveis dificuldades sobre os assuntos que lecionam. Construir determinados conceitos na Mecânica Clássica está longe de ser algo fácil. Porém, isso não significa que o aluno deva resolver inúmeras listas de exercícios com incontáveis problemas numéricos e/ou algébricos. Acredito que os conteúdos possam ser trabalhados de forma investigativa, partindo do que o aluno sabe, do que ele já construiu, o que torna o aluno um ser ativo frente sua aprendizagem.

Com a experiência em sala de aula que trago desde o início de minha graduação, a cada dia analiso de forma mais significativa as dificuldades de meus alunos frente aos assuntos que leciono, em especial a Mecânica Clássica. Ao que me parece, o Referencial fundamenta toda a Mecânica Clássica e, às vezes, isso passa despercebido para muitos professores.

A Mecânica Clássica hoje conhecida se fundamenta basicamente em três leis, que possibilitam, sabendo-se algumas variáveis, prever qual o movimento de um determinado objeto em instantes posteriores. Ou seja, sabendo algumas características do movimento de um objeto, pode-se saber como ele se comportará, por exemplo, daqui a dez segundos. Ou então, o contrário, sabendo o que aconteceu, pode-se, a partir dos dados coletados, saber qual o movimento do objeto em algum instante anterior. Pode-se, então, prever o movimento de objetos, se compreendidas as leis que fundamentam a Mecânica.

Porém, ao que me parece, para compreender as leis que regem os movimentos dos corpos na Mecânica Clássica, é necessário construir conjuntamente uma noção de Referencial Inercial que possibilite significar uma gama de situações condizentes com a Mecânica. Assim, o objetivo deste trabalho é evidenciar as noções de Referencial

Inercial de alunos de Física. O que me motivou a escolher tal tarefa é que uma das minhas hipóteses para o grande número de reprovações em disciplinas de Mecânica nas Universidades é o fato dos alunos não terem construído uma noção de Referencial Inercial que sustente as situações trabalhadas em uma disciplina de Mecânica, seja esta introdutória ou avançada.

No capítulo “A Configuração do Problema”, busco dar sentido ao trabalho realizado, assim como toda a trajetória da constituição do problema de pesquisa. Nele apresento uma contextualização das minhas experiências como professor de Física e pesquisador, evidenciando o problema que investiguei.

No capítulo seguinte, intitulado “A tomada de consciência”, busco interpretar os processos pelos quais os sujeitos tomam consciência dos mecanismos gerais de suas ações ou dos meios empregados para conseguir o êxito frente às indagações do pesquisador. Situando-se dentro da Epistemologia Genética, a tomada de consciência dos sujeitos propiciou analisar os dados coletados, se mostrando de fundamental importância para a compreensão das noções dos sujeitos.

No capítulo “Considerações sobre Referenciais”, busco resgatar um pouco da história da Mecânica Clássica, assim como sua importância para a interpretação de fenômenos cotidianos. Concentro-me também em alguns fundamentos da Mecânica e a concepção de Espaço Absoluto dentro da Mecânica Newtoniana. Por fim, resalto o conceito de Referencial Inercial, mostrando sua importância para a Mecânica Clássica.

Posteriormente, em “Metodologia”, evidencio o objetivo deste trabalho, assim como os participantes desta pesquisa, o procedimento de coleta de dados e os instrumentos utilizados. A coleta de dados foi realizada com alunos de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. O método utilizado para a coleta foi o mesmo utilizado em muitas pesquisas de Jean Piaget, o Método Clínico. Tendo como objetivo deste trabalho analisar as noções de Referencial Inercial de alunos de Física, uma entrevista semi-estruturada foi realizada com cada sujeito pesquisado. Para auxiliar a entrevista foram criados três experimentos para melhor significar as perguntas realizadas aos sujeitos. Além disto, a manipulação dos experimentos por parte dos sujeitos foi intensa, possibilitando coletar informações até então não previstas em minhas hipóteses. Nesse capítulo, resalto também um novo olhar para o ensino de Física. Vi com clareza como o método utilizado pode servir como um método de

ensino, tornando o sujeito um ser ativo frente sua aprendizagem que é construída na interação sujeito-objeto. Ao final das entrevistas vi muitos sujeitos entusiasmados com as indagações feitas durante a coleta de dados, e não raras foram as vezes que ouvi os sujeitos afirmarem “como seria bom se o ensino fosse assim, com experimentos e perguntas que nós respondêssemos, que nós fôssemos atrás das respostas para os problemas...”.

No capítulo seguinte busquei analisar os dados coletados com o auxílio da Epistemologia Genética. Busquei responder três perguntas que nortearam este trabalho, possibilitando alcançar meu objetivo: o que é um Referencial? Como se diferenciam dois ou mais Referenciais? Todos os Referenciais são válidos para a Mecânica Clássica? Assim, consegui encontrar alguns modelos que visam a dar significado às situações da Mecânica para os sujeitos. Encontrei também uma hierarquia dos níveis de raciocínio empregados pelos sujeitos, já que a noção de Referencial é construída e deve ser interpretada não como mero conteúdo, mas com uma forma que estrutura o pensamento.

Por fim, nas “Conclusões Finais”, busquei relacionar os diversos modelos encontrados frente às três perguntas norteadoras, bem como evidenciar como se pode inserir os resultados deste trabalho em sala de aula. Retraturei, também, a possibilidade de novas pesquisas tendo como base este trabalho que a meu ver contribui para a melhoria da Educação.

1. Configuração do problema

Considero meu corpo, que é meu ponto de vista sobre o mundo, como um dos objetos desse mundo. (MERLEAU-PONTY, 1996, p. 108)

No ano de dois mil e oito obtive o diploma de Licenciado em Física pela Universidade Federal de Pelotas/UFPel. Buscando prosseguir com minha formação de professor, ingressei no Programa de Pós Graduação em Educação/PPGEdu da UFRGS como aluno do Programa de Educação Continuada/PEC.

Ao longo de minha graduação fui integrante do Programa de Educação Tutorial/PET, o qual me possibilitou grande crescimento pessoal e intelectual. Ainda na graduação, busquei, inicialmente baseado nas teorias de Ausubel e Bachelard, interpretar como o sujeito aprende algo novo. Hoje, baseado na Epistemologia Genética de Jean Piaget, julgo grande meu avanço nos estudos sobre o desenvolvimento cognitivo.

Diferentemente de ensinar Física, estou interessado em entender como o sujeito aprende Física, caracterizando, então, um trabalho mais voltado para a Educação, em especial na linha de pesquisa *O sujeito da Educação: conhecimento, linguagem e contextos*.

Como professor substituto no Instituto de Física da UFRGS entre julho de 2008 e julho de 2010, pude perceber muitas das dificuldades dos alunos matriculados na disciplina de Física I-C, tal qual oferecida aos cursos de Engenharia, Química e Ciências da Computação. As dificuldades refletiam diretamente nas notas finais, sendo que, em média, mais da metade dos estudantes eram reprovados. Das inúmeras causas que se pode cogitar para explicar o porquê do alto número de reprovação, creio que uma delas seria uma noção de Referencial Inercial insuficientemente elaborada pelos alunos. Isso porque o foco principal da disciplina ofertada é o estudo da Mecânica Clássica, a qual requer a escolha de um Referencial para agir sobre os problemas abordados.

Em Física trabalha-se com modelos descritivos e explicativos, dos quais muitos requerem, para a sua compreensão, a presença do raciocínio formal. Para Piaget (1958, p. 191), um sujeito tem o raciocínio formal quando é capaz de operar “[...] sobre simples suposições, sem relação necessária com a realidade ou com as crenças do indivíduo, confiado apenas na necessidade de raciocinar (*vi formae*), por oposição ao acordo das conclusões com a experiência”. O estágio operatório formal é marcado pela capacidade do sujeito em levantar hipóteses e trabalhar com deduções sem recorrer a símbolos concretos. Isso remete a uma coordenação de operações não mais vinculada ao real necessariamente. O sujeito capaz do pensamento formal não se restringe ao que se pode realizar, mas especula hipóteses, possibilitando combiná-las para resolver determinado problema. O grande marco deste estágio é a organização da estrutura lógica de grupo, possibilitando a organização e coordenação de operações em formas diferentes de reversibilidade lógica. Entende-se como estrutura “[...] toda ligação lógica susceptível de representar, alternativa ou simultaneamente, o papel de forma e de conteúdo” (PIAGET, 1976, p. 38). Por sua vez, “O ‘conteúdo’ de uma ligação operatória é constituído pelos dados, ou os termos que os podem substituir, enquanto a ‘forma’ é o que permanece imutável no decurso de tais substituições” (PIAGET, 1976, p. 37). Essas características, no estágio operatório formal, são reunidas no chamado Grupo INRC que inclui operações de Identidade (I), Negação (N), Reciprocidade (R) e Correlação (C), possibilitando o pensamento ser construído no plano hipotético-dedutivo.

Se um sujeito em idade universitária não necessariamente é operatório formal, como um sujeito que cursa a disciplina de Mecânica Clássica conseguirá construir conceitos que envolvem um raciocínio que até então pode não ter? E os que são capazes do pensamento formal, teriam já construído a noção de Referencial Inercial?

É comum serem adotados, como Referenciais, objetos como árvores, postes, a Terra, estradas ou pessoas, que servem como observadores. Porém, um Referencial não é isso. A adoção de um Referencial requer a escolha de um ponto como origem e a intersecção, neste ponto, de três retas perpendiculares entre si que darão as direções deste Referencial, que são as coordenadas espaciais. Então, no momento que se seleciona um objeto como um Referencial, está-se evidenciando, na verdade, um ponto específico, que é a origem do Referencial. Desta maneira, não se está escolhendo um Referencial propriamente dito, pois este depende ainda das direções, perpendiculares entre si, que irão possibilitar mensurar grandezas como posição, velocidade e aceleração

dos objetos. Nota-se que este ponto ao qual se refere a origem do Referencial não é necessariamente um ponto material, podendo ele, em um caso geral, ser qualquer ponto no espaço.

Assim, a compreensão dos Referenciais Inerciais está relacionada apenas com o ponto de origem ou os sujeitos levam em consideração também as coordenadas espaciais? Os sujeitos adotam objetos físicos como um Referencial ou em qualquer ponto do espaço pode ser alocado um Referencial? Diante destes questionamentos, apresento o meu problema de pesquisa: **Quais as noções de Referencial Inercial de alunos de Física?**

É comum que a escolha de um Referencial recaia sobre objetos, por se tratar de elementos físicos, e pessoas, por se tratar de observadores. Com isso, tem-se uma noção de Referencial Inercial relacionada a uma pseudonecessidade, na qual a escolha de um Referencial parece exigir a adoção de um corpo físico. Enquanto que, para Fraisse (1968, p. 150), “[...] a necessidade lógica não depende de uma questão de fato, mas de uma obrigação consciente inerente às implicações”, pode-se dizer que uma pseudonecessidade ocorre quando um conjunto de deduções do sujeito se funda em observáveis considerados como intrinsecamente necessários. Porém, para o sujeito, suas coordenações operatórias constituem-se necessárias já que as utiliza para dar significado aos problemas. Por conseguinte, um sujeito tem uma noção de Referencial Inercial bem elaborada quando não restringe suas possibilidades de escolha de um Referencial ao real, ou seja, quando o localiza em qualquer ponto espacial, independente da presença de objetos.

Então, como se dá a passagem de uma noção de Referencial menos elaborada para uma noção mais elaborada? Buscando responder também a esta pergunta, fez-se necessário analisar as tomadas de consciência dos meios empregados que levam à reconstrução de tais noções. Assim sendo, é tomando consciência de determinados conflitos que o sujeito pode evoluir para uma noção mais elaborada, possibilitando, assim, agir sobre um número maior de problemas.

2. A Tomada de Consciência

A pesquisa de Piaget sobre a tomada de consciência foi realizada no início dos anos setenta do século XX e teve a sua primeira publicação em 1974, intitulada *La Prise de Conscience* (A Tomada de Consciência). No segundo semestre desse mesmo ano, buscando a totalidade da primeira obra, foi publicado o livro *Réussir et Comprendre* (Saber Fazer e Compreender)¹.

A princípio, e que isso não seja visto como um reducionismo, a diferença primordial entre o *saber fazer* e o *compreender* é que para este é necessária a tomada de consciência dos meios empregados que possibilita o *saber fazer*. Ao se analisar, por exemplo, o borracheiro realizando seu trabalho, na sua tarefa de balancear a roda de um automóvel, provavelmente saberá fazer até com certa facilidade. A questão é: qual o grau de compreensão que ele tem sobre o que faz? Será que ele compreende que o que faz é distribuir a massa da roda de maneira uniforme frente ao eixo de rotação? Ou ainda, será que ele compreende que o seu *fazer* faz com que os vetores velocidade angular e momento angular sejam paralelos? Creio que a expressiva maioria dos borracheiros pode não saber, porém realiza a atividade e soluciona o problema em questão com eficácia.

Não apenas borracheiros sabem fazer muitas coisas para as quais não é necessária a compreensão. Andar de bicicleta, por exemplo, não exige uma compreensão do *porquê* e do *como* uma pessoa se equilibra sobre ela. Isto se evidencia quando pessoas dizem que são elas que equilibram a bicicleta, quando, na verdade, é o contrário. Mas, então, para que analisar a compreensão? Para tentar elucidar a importância de compreender, descrevo um pequeno resgate histórico.

Em 1887, Heinrich Hertz, enquanto investigava a natureza eletromagnética da luz, descobriu, por acaso, um fenômeno peculiar ao estudar a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes. Ele observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra. Como esta era difícil de ser visualizada, Hertz construiu uma proteção sobre o sistema para evitar a

¹ A obra publicada no Brasil tem como título “Fazer e Compreender”.

dispersão da luz. No entanto, isto causou uma diminuição da faísca secundária. Na sequência dos seus experimentos, constatou que o fenômeno não era de natureza eletrostática, pois não havia diferença se a proteção era feita de material condutor ou isolante. Após uma série de experiências, Hertz confirmou o seu palpite de que a luz poderia gerar faíscas.

Hertz sabia fazer com que uma faísca fosse criada na placa secundária. Agora, imagine se Hertz, Hallwachs, Lenard, Wolf, Thomson e Einstein não tivessem buscado a compreensão de tal fenômeno: não teriam descoberto o efeito fotoelétrico (efeito citado como exemplo acima); ainda pensariam que apenas a luz ultravioleta gerava tal fenômeno; óculos de visão noturna ainda seria ficção científica; portas de elevadores e de shoppings ainda seriam abertas manualmente; lâmpadas em postes ainda teriam que ser ligadas por um funcionário; a Física Clássica provavelmente teria reinado absoluta ainda por alguns anos; Einstein não teria ganhado o prêmio Nobel de 1921, entre outras consequências...

Sabendo agora da importância de se compreender, como se passa do *saber fazer* ao *compreender*? Voltando ao exemplo do efeito fotoelétrico, as descobertas dos *como* e dos *porquês* se deu pela ação de pesquisadores frente ao objeto a ser conhecido. Fazendo incidir luz ultravioleta sobre uma placa, observando o resultado e elaborando hipóteses. Incidindo sobre outra placa, observando o resultado e reelaborando as hipóteses. Incidindo luz amarela, observando o resultado e reelaborando as hipóteses... Uma busca incessante da compreensão dos meios empregados dos resultados obtidos. Formulação de hipóteses e comprovação empírica. Piaget diria que o cerne de toda a construção intelectual é a *ação*. E isso fica claro ao analisar o processo de construção de uma teoria.

A partir de todos os resultados coletados Einstein propôs, em 1905, uma teoria muito simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico. De acordo com sua teoria, um *quantum*² de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, independentemente da existência de outros *quanta*³ de luz. Tendo em conta que um elétron ejetado do interior do corpo perde energia até atingir a superfície, Einstein

² Palavra proveniente do latim que em português significa “quantia/quantidade”. Na Física, o *quantum* se opõe ao contínuo. A energia, como proposta por Einstein, é discreta, ou seja, não pode assumir quaisquer valores.

³ Plural de *quantum*.

propôs uma equação que relaciona a energia do elétron ejetado (E) na superfície, a frequência da luz incidente (ν) e a função trabalho do metal (ϕ), que representa uma resistência ao elétron de escapar do material.

$$E = h.\nu - \phi$$

Equação 1

Einstein seria um ser supremo? Einstein teve um *insight*? Einstein teria formulado tal teoria sem a contribuição de outros pesquisadores? Entendo que a resposta para as três perguntas é não. Logo, a teoria foi construída e não advinda de uma iluminação instantânea, como um *insight*. Da mesma maneira que Arquimedes, ao entrar na banheira cheia de água, conseguiu encontrar a solução para identificar se a coroa do rei era feita de puro ouro ou havia outros metais em sua composição, (conseqüentemente escapar da morte e sair correndo pelado pelas ruas gritando *eureka*) estaria Einstein andando de bicicleta com a língua à mostra quando instantaneamente formulou sua teoria?

Arquimedes, provavelmente, já teria se banhado inúmeras vezes naquela mesma banheira. Teria observado inúmeras vezes a água se elevar enquanto seu corpo se adentrava na banheira. Ele observava tal fenômeno, mas este, por si só, não era visto como um estímulo para ele resolver tal problema. Isso mostra a importância da atividade do sujeito e a não primazia do meio na construção de uma teoria. Porém, a importância deve ser dada não somente ao sujeito e nem somente ao meio, mas à interação sujeito-objeto. Ou seja, sujeito e objeto interagem, e é na interação que o sujeito constrói o seu conhecimento.

A construção do conhecimento é um processo, assim como a passagem do inconsciente ao consciente. Esta passagem não pode ser entendida como mera iluminação, mas, como afirma Piaget (1977, p. 11), “[...] sob o ponto de vista psicológico, constitui um **processo** bem mais complexo do que uma simples percepção interior e ainda precisam ser analisadas as leis da conceituação que ele supõe em todos

os casos”. Nesta citação, Piaget diferencia o *insight* do processo que ele chama de *tomada de consciência*. A tomada de consciência “[...] trata-se, na realidade, de uma verdadeira construção, que consiste em elaborar, não ‘a’ consciência considerada como um todo, mas seus diferentes níveis enquanto sistemas mais ou menos integrados” (PIAGET, 1977, p. 9).

Dados estes exemplos, centro a análise no processo de tomada de consciência descrito por Piaget e, para isso, utilizo um diagrama que explicita este processo:

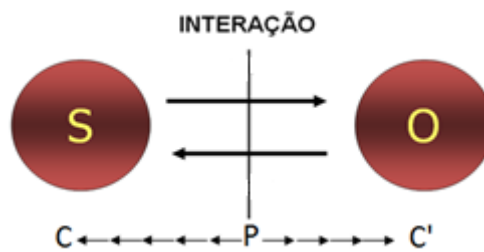


Figura 1

O sujeito (S) age sobre o objeto (O), e neste sentido o sujeito se diferencia do objeto. Lembrando que o *objeto* é o meio físico e social, pode-se afirmar que o objeto é tudo menos o sujeito. Porém, é na busca de conhecer o objeto que o sujeito conhece a si próprio. A princípio, para a criança recém-nascida, há uma amálgama, na qual o sujeito não se diferencia do objeto. No movimento de se diferenciar, o sujeito age sobre o objeto e este sobre aquele. Por isso a interação. A interação entre dois pólos (sujeito e objeto) faz com que ambos se diferenciem. Por isso, este movimento começa da periferia. Para Piaget (1977, p. 199-200)

[...] as iniciativas cognitivas orientadas para C' e para C [...] são sempre correlativas, essa solidariedade constituindo a lei essencial da compreensão dos objetos e da conceituação das ações. [...] A lei da periferia (P) aos centros (C e C') não se limita à tomada de consciência da ação material. A interiorização da ação, mediante a passagem do objetivo aos meios empregados e aos resultados, leva ao plano da ação refletida, a uma consciência dos problemas a resolver e, daí, à consciência dos meios cognitivos (não mais materiais) empregados para resolvê-los.

Há dois movimentos originários da periferia: um movimento no sentido do centro C do sujeito, dito como movimento de interiorização, e outro no sentido do centro C' do objeto, dito movimento de exteriorização. Para Piaget (1977, p. 101), o objeto “[...] só é bem observado quando compreendido, mas para ser compreendido deve ser bem observado”. Então, há uma correlação entre estes dois movimentos. Enquanto o movimento de interiorização conduz não só à tomada de consciência das ações, mas ainda à conceituação das operações lógico-matemáticas e à construção das estruturas lógico-matemáticas, o segundo, o movimento de exteriorização, correlativamente, leva ao mesmo tempo ao conhecimento experimental e às aplicações causais, logo à elaboração de explicações físicas e à construção de modelos explicativos.

Diremos, então, que a tomada de consciência, parte da periferia (objetivos e resultados), orienta-se para as regiões centrais da ação quando procura alcançar o mecanismo interno desta: reconhecimento dos meios empregados, motivos de sua escolha ou de sua modificação durante a experiência etc. [...] Daí que a tomada de consciência orienta-se para os mecanismos centrais C da ação do sujeito, ao passo que o conhecimento do objeto orienta-se para suas propriedades intrínsecas (e, nesse sentido, igualmente centrais C') e não mais superficiais e ainda relativas à ação do sujeito (PIAGET, 1977, p. 198-199).

Ao se analisar o processo de tomada de consciência mais profundamente, implícito no diagrama acima (Figura 1) há dois conceitos chave em Piaget. O primeiro é *assimilação* ou incorporação de um elemento exterior em um esquema sensorio-motor ou conceitual do sujeito. O segundo é a *acomodação*, ou seja, a necessidade em que se

acha a assimilação de levar em conta as particularidades próprias dos elementos a assimilar. Buscando a construção do conhecimento, o sujeito, por interação com o novo, busca assimilá-lo a seus esquemas. Porém, isto não é de fácil realização. O objeto age sobre o sujeito, resistindo à assimilação. Quanto mais o sujeito vai vencendo esta resistência, mais conhece o objeto, e quanto mais o sujeito se concentra nos meios empregados para conhecer o objeto, mais o compreende.

Mas, o que gera uma tomada de consciência? Piaget fala sobre *regulações automáticas e regulações ativas*. Segundo ele

[...] o que desencadeia a tomada de consciência é o fato de que as regulações automáticas (por correções parciais, negativas ou positivas, de meios já em atuação) não são mais suficientes e de que é preciso, então, procurar novos meios mediante uma regulação mais ativa e, em consequência, fonte de escolhas deliberadas, o que supõe a consciência (PIAGET, 1977, p. 198).

Uma das características da regulação ativa são as ações em função de uma escolha, ou seja, quando o sujeito hesita entre várias possibilidades e elege uma como a mais adequada para a situação. Então, a regulação ativa é a ação do sujeito em função de uma escolha, conduzindo o sujeito a reconhecer os meios empregados, os motivos da escolha ou da modificação durante a experiência e outros fatos significativos.

Piaget afirma ainda que os conflitos e as contradições são dois elementos fundamentais que podem levar os sujeitos à tomada de consciência, possibilitando a aprendizagem. Isso não quer dizer e nem quero reforçar a idéia de que é errando que se aprende, mas, como afirma Becker (2010, p. 165), “Errando também se aprende”. É a partir do dado de observação relativo ao objeto (resultado falho), que o sujeito vai procurar os pontos em que houve falha na atribuição do esquema ao objeto; e, a partir do dado de observação relativo à ação, ele vai concentrar a atenção nos meios empregados em suas correções ou eventuais substituições. Assim, por meio de um vaivém entre o objeto e a ação do sujeito, a tomada de consciência aproxima-se por **etapas** dos mecanismos internos da ação, orientando-se, então, da periferia P ao centro C (correlativamente para o centro C’ também). Este processo se dá em etapas,

justamente por ser caracterizado como um processo e não uma simples iluminação, o que caracterizaria o *insight*.

Sendo a tomada de consciência um processo, e este se dá por reconstruções estruturais, a passagem de um saber prático à compreensão exige muitas tomadas de consciência dos meios empregados. Isso porque, e é por consequência disto que, ao mesmo tempo, os movimentos de exteriorização e interiorização tendem aos centros C e C', se aproximando cada vez mais, porém nunca os alcançando.

Então, pode-se afirmar que a tomada de consciência é um processo que visa à conceituação. Segundo Piaget (1977), a tomada de consciência é um processo de transformação de um esquema ou de um conjunto de esquemas em conceito, consistindo, então, em um processo de conceituação. Ou seja, o processo de tomada de consciência mostra como se passa de um esquema de ação a um conceito. Para Piaget (1977, p. 203), “[...] a própria conceituação constitui [...] um **processo** propriamente dito, já que ela não é imediata, e, havendo processo, seu grau de consciência deve variar”. Estes graus de consciência estão relacionados aos diferentes graus de integração, logo, não há passagem brusca ou imediata do inconsciente ao consciente. Até porque o inconsciente é um sistema dinâmico em permanente atividade. Assim “[...] o mecanismo da tomada de consciência aparece em todos esses aspectos como um processo de conceituação que reconstrói e depois ultrapassa, no plano da semiotização e da representação, o que era adquirido no plano dos esquemas de ação” (PIAGET, 1977, p. 204).

Ao se analisar a Mecânica Clássica, pode-se perceber que a construção de determinados conceitos está intimamente ligada com a tomada de consciência dos mecanismos gerais da ação. As leis do movimento de Newton, mais especificamente a segunda lei, parecem mostrar que a construção de instrumentos que visam a dar significado às leis exige uma coordenação de conceitos que é fornecida pelas tomadas de consciência dos meios que são empregados. Matematicamente, a segunda lei de Newton pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Equação 2

Um objeto de massa m adquire uma aceleração (\vec{a}) se houver uma força resultante⁴ (\vec{F}_R) diferente de zero agindo sobre ele. Buscando compreender esta lei, o sujeito deve ter construído os conceitos de força, massa, aceleração, velocidade, posição, tempo, objeto, espaço, vetor, etc. Mas, mesmo para um sujeito que tenha construído estes conceitos, isto não garante que ele compreenda a segunda lei e tudo o que está implícito nela. Ou seja, os conceitos construídos, devido a tomadas de consciência, não estão necessariamente relacionados dentro de uma totalidade. Um sujeito que compreende a segunda lei de Newton, ao observar um móvel que se desloca no espaço com velocidade variando, infere que há uma aceleração, logo deve haver também pelo menos uma força sendo aplicada naquele móvel. Ou seja, a compreensão que o sujeito tem neste exemplo envolve mais do que a compreensão dos conceitos isolados. Pode-se dizer que há aí uma coordenação de inferências ou até uma coordenação de conceitos. Esta coordenação inferencial ultrapassa os dados de observação e, ao mesmo tempo, favorece sua leitura. Entende-se como coordenação inferencial “conexões não constatadas, mas deduzidas por composição operatória, e que ultrapassam assim o campo dos dados de observação, em particular enquanto introduzem relações de necessidade” (PIAGET, 1977, p. 206).

Por sua vez, a inferência

[...] vem do verbo *inferre* que significa *levar a, concluir, dirigir-se a*. Simplificando, inferência é uma passagem mental que parte de uma proposição mais conhecida e chega a uma menos conhecida; uma passagem mental que leva de algo que se sabe para algo que não se sabia; de algo que se sabia, conclui-se algo que se sabia menos ou não se sabia (BECKER, 2010⁵).

⁴ Força resultante é a soma vetorial de todas as forças que são aplicadas em um corpo.

⁵ Notas de aula do seminário avançado “Tomada de Consciência: o caminho do fazer ao compreender” ocorrido no primeiro semestre do ano de 2010.

Uma criança que tenha construída a noção de objeto permanente, ao se esconder um brinquedo de seu interesse sob um pano, por exemplo, irá inferir, não necessariamente de forma consciente, que o objeto apenas desapareceu de seu campo visual, continuando a existir e se encontrando sob o pano. No exemplo da segunda lei de Newton, a inferência se dá entre conceitos já construídos, logo conscientes. Segundo Piaget,

[...] há sempre inferência nas ações de um sujeito, quando, em presença de elementos dados fisicamente, o sujeito apela a elementos não fisicamente presentes para tirar desta junção, entre os elementos fisicamente dados e os elementos não presentes fisicamente, um conhecimento que não poderia ser obtido só por meio dos primeiros (PIAGET *apud* BATTRO, 1978, p. 136).

Sendo assim, pode-se concluir que são as coordenações inferenciais que conduzem a uma conceituação. Logo, aqui está o motivo de analisar as inferências dos sujeitos neste trabalho, já que estou à procura das noções dos sujeitos frente ao que é um Referencial Inercial. Tendo as inferências o caráter endógeno, elas são construídas por abstração reflexionante, já que esta “[...] extrai das coordenações da ação o necessário para construir as coordenações inferenciais que, no nível do conceito, permitem ligar e interpretar esses dados de observação” (PIAGET, 1977, p. 210).

Porém, parece existir algo que vai além das tomadas de consciência das ações, que é a implicação significativa. Segundo Piaget (1978, p. 179) “[...] o sistema das implicações significativas fornece um elemento que não é compreendido, nem nos objetivos, nem nos meios empregados: é a determinação das razões, sem as quais os sucessos representam apenas fatos sem significado”. Continuando,

[...] a característica mais geral dos estados conscientes, desde as tomadas de consciência elementares, unidas aos objetivos e resultados das ações, até as conceituações de níveis superiores, é a de exprimir significações e reuni-las em uma forma de conexão que chamaremos, na falta de um termo melhor, de “implicação significativa” (1978, p. 178).

Quando um sujeito observa um móvel se deslocando no espaço com velocidade variando no tempo, ele infere que há uma aceleração, inferindo também a existência de, pelo menos, uma força aplicada sobre o móvel. Mais do que uma coordenação inferencial, há uma implicação (sempre que há aceleração, há, necessariamente, uma força resultante) que visa a dar significado à segunda lei de Newton. A partir de um jogo de inferências, de implicações significantes e de tomadas de consciência, o sujeito elabora, segundo Silva (2009), um modelo que, ao mesmo tempo, descreve os fatos e visa a explicá-los.

Silva, em sua tese, afirma que “[...] significações se estabelecem fundadas em um quadro implicativo que conjuga as inferências envolvidas. Acreditamos que esse sistema de conjunto organiza-se sob a forma de um modelo, cuja principal função é construir um quadro antecipatório e dedutivo sobre as condutas a serem executadas” (2009, p. 11). A este modelo Silva chama de *Modelo de Significação*.

[...] a construção dos significados origina-se na relação entre os objetos e os esquemas e evolui à medida que estes vão se tornando conscientes das relações e dos problemas envolvidos. Nas situações mais complexas podem-se encontrar conjuntos de esquemas atuando para significar os problemas. Em decorrência disso, acredita-se que os esquemas são a origem dos modelos de significação, os quais apresentam as características mais gerais das ações e permitem ao sujeito atuar sobre os problemas e elaborar explicações para os procedimentos que realiza. Em resumo, supõe-se que a significação elaborada pelo conjunto dos esquemas organiza-se sob a forma de modelos através dos quais é possível interpretar a realidade, atribuir-lhe sentido e elaborar meios de explicar as situações (SILVA, 2009, p. 27).

Um sujeito, frente a diferentes conteúdos, pode elaborar diferentes modelos de significação. Estes modelos de significação são organizações da estrutura cognitiva do sujeito que os usa para todos os conteúdos, porém significando de maneira diferente frente a conteúdos diferentes. Isso corrobora a tese de Silva, quando afirma que,

[...] além das estruturas e dos procedimentos, o pensamento organiza modelos para interpretar os conteúdos. Entende-se que um modelo é o quadro assimilador formado pelos esquemas construídos, o qual permite atribuir significação aos problemas, controlar, organizar e dirigir a atividade cognitiva do sujeito (SILVA, 2009, p. 24).

Assim, busquei analisar também as inferências e as implicações que os sujeitos constroem para dar significado aos problemas que envolvem a escolha de Referenciais. Isso por que “[...] o próprio da tomada de consciência é dirigir-se a uma significação dos problemas à medida que o sujeito vai se organizando em função das novas implicações significantes que podem ser construídas” (SILVA, 2009, p. 26). Dentro da perspectiva do trabalho, os modelos de significação de Silva contribuem também como um suporte teórico na análise das entrevistas dos sujeitos.

3. Considerações sobre Referenciais

Uma inteligência que, em certo momento, conhecesse todas as forças que atuam no universo e o estado inicial de todos os corpos que constituem a natureza, abarcaria (se esta suposta inteligência fosse tão vasta que pudesse processar todos os dados) na mesma expressão matemática os movimentos dos grandes objetos do universo bem como do mais ínfimo dos átomos: nada lhe seria duvidoso e o futuro, tal qual o passado, seria o presente a seus olhos. (PIERRE-SIMON de LAPLACE *apud* ROCHA, 2002, p. 126).

A adoção de um Referencial é necessária para se analisar qualquer fenômeno físico. Um Referencial, primeiramente, serve para mensurar a posição de um corpo. A partir disso, sabendo a posição de um corpo em dois instantes de tempo, pode-se calcular a velocidade do corpo frente ao Referencial escolhido. Com estes dados, pode-se também calcular a aceleração do corpo e inferir se há alguma força aplicada nele. Assim, diante da escolha de um Referencial para analisar o movimento de um corpo, os seis conceitos principais da Mecânica Clássica (tempo, posição, velocidade, aceleração, massa e força) se relacionam mutuamente de maneira implicativa. A velocidade (\vec{V}) pode ser quantificada pela derivada temporal (d/dt) da posição (\vec{r}), ou seja, de que forma a posição de um objeto varia no decorrer do tempo. A relação matemática dos conceitos citados pode ser expressa pelas equações abaixo:

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Equação 3⁶

⁶ O símbolo \rightarrow sobre V e r indica que estas variáveis são grandezas vetoriais, sendo constituídas de módulo, unidade de medida, direção e sentido.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Equação 4

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Equação 5

Um Referencial deve ser estabelecido por meio de coordenadas. As coordenadas que normalmente utiliza-se são as cartesianas que, segundo Knight (2009, p. 78) "Trata-se de um sistema de coordenadas com os eixos mutuamente perpendiculares, formando uma rede retangular. Um sistema de coordenadas xyz constitui um sistema de coordenadas cartesianas em três dimensões". Além disso, "Os eixos de coordenadas possuem uma extremidade positiva e outra negativa, separadas pelo zero localizado na origem, onde os eixos se cruzam" (KNIGHT, 2009, p. 78).

Segundo Einstein (1999, p. 14-15),

Toda descrição de lugar (ou posição) onde ocorreu um evento ou onde se encontra um objeto se baseia em indicarmos o ponto de um corpo rígido (corpo de referência) com o qual aquele evento coincide. Este procedimento se aplica não apenas para a descrição científica, mas também para a vida diária. [Porém] [...] essa maneira primitiva de especificar a posição só se aplica a lugares situados na superfície de corpos rígidos e depende de existirem pontos distinguíveis sobre tal superfície. Vejamos como a mente humana consegue libertar-se destas duas limitações, sem que a essência do método de especificar a posição sofra alteração [...] A física das medidas consegue isso com o emprego do sistema cartesiano de coordenadas. Este sistema consiste em três paredes planas, perpendiculares entre si e unidas de maneira a formar um corpo rígido. A posição de um evento qualquer em relação ao sistema de coordenadas é descrito, no essencial, indicando-se os comprimentos das três perpendiculares, ou coordenadas (x, y, z), que podem ligar o evento àquelas três paredes planas.

Ou seja, um Referencial pode ser imaginado da seguinte maneira:

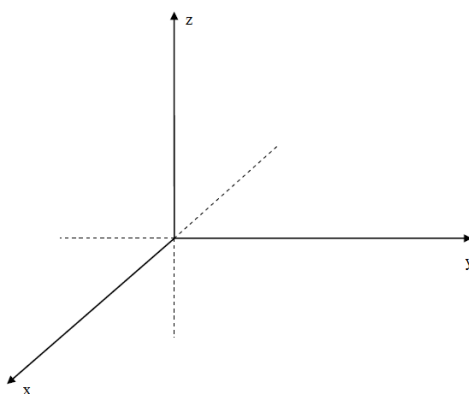


Figura 2

Buscando atingir um objetivo, por exemplo, mensurar a posição de um objeto, por meio deste Referencial, tem-se:

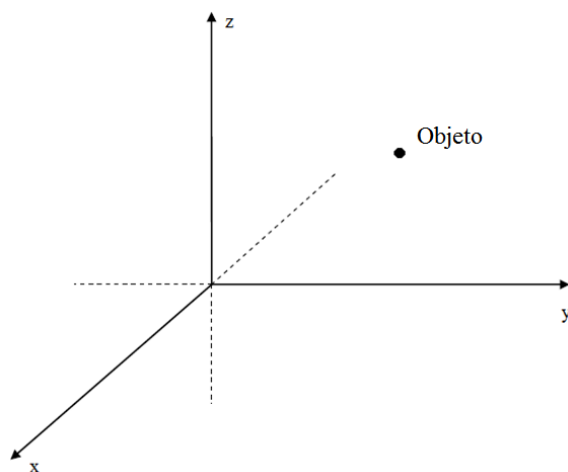


Figura 3

Ao se traçar o plano xy (Figura 4) e o elevar até o objeto (Figura 5), encontra-se a posição do objeto referente à coordenada z:

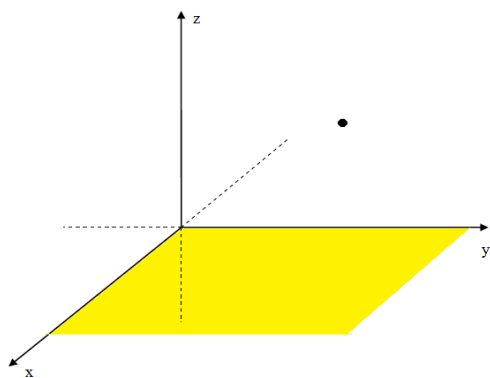


Figura 4

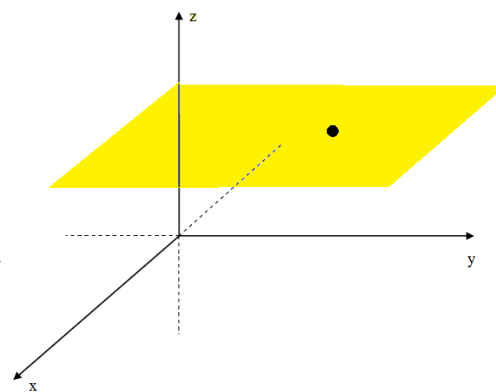


Figura 5

Por sua vez, ao se traçar o plano xz (Figura 6) e o elevar até o objeto (Figura 7), encontra-se a posição do objeto referente à coordenada y;

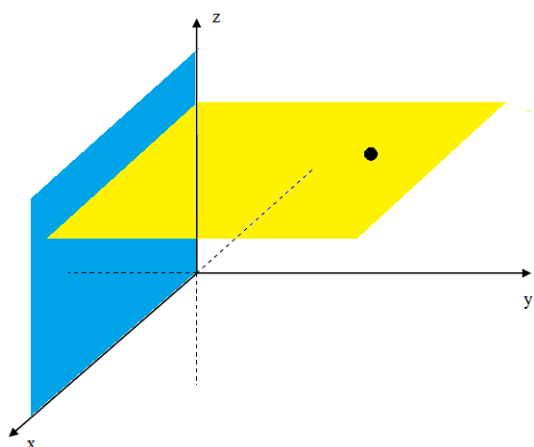


Figura 6

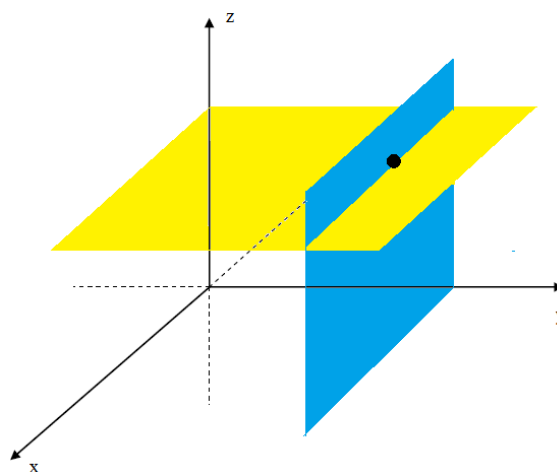


Figura 7

Por fim, ao se traçar o plano yz (Figura 8) e o elevar até o objeto (Figura 9), encontra-se a posição do objeto referente à coordenada x;

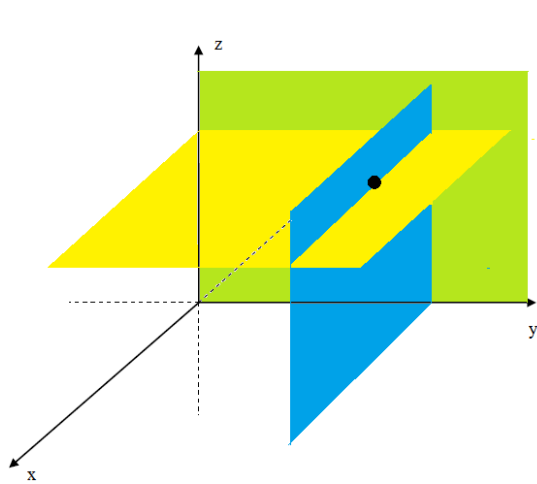


Figura 8

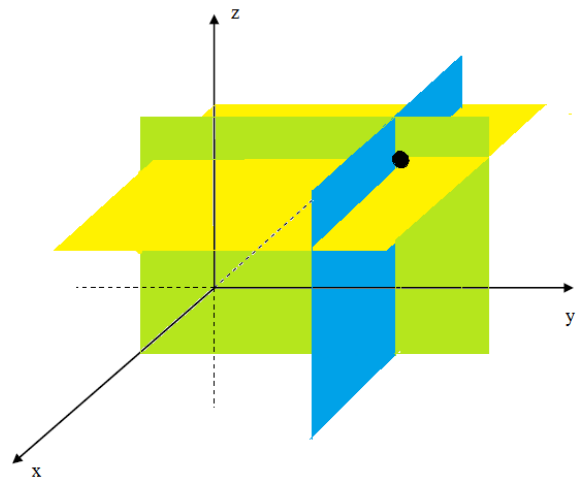


Figura 9

Logo:

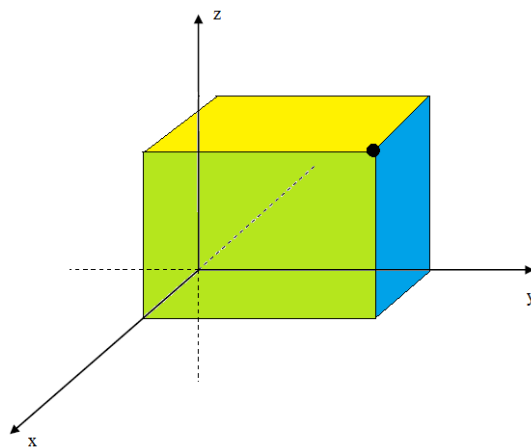


Figura 10

Como a posição é um vetor (que denominarei como \vec{r}), e este por sua vez tem sua origem coincidindo com a origem do Referencial escolhido, tem-se como resultado:

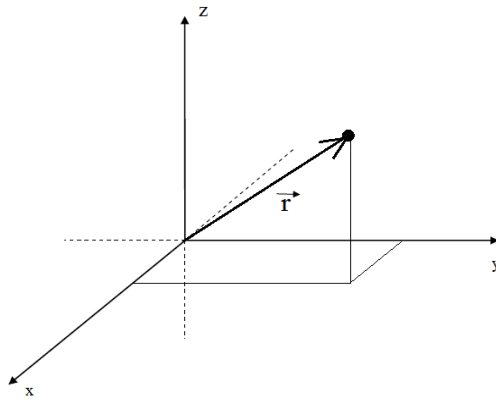


Figura 11

Analisando o vetor \vec{r} , que representa a posição do corpo frente ao Referencial estabelecido pode-se, no decorrer do tempo, mensurar a velocidade do corpo, assim como sua aceleração. Da mesma maneira, pode-se adotar qualquer Referencial e por meio dele calcular os vetores posição, velocidade e aceleração para o corpo.

3.1. A Mecânica Newtoniana

Se longe enxerguei é porque estive apoiado em ombros de gigantes.
(NEWTON *apud* ROCHA, 2002, p. 23)

O significado etimológico da palavra *mecânica* vem do grego *mechaniké* - arte de construir uma máquina - que, traduzido para o latim, fica *mechanica*. Após Galileu e principalmente Newton, a palavra *mecânica* passou a significar, conceitualmente, o estudo do movimento e de suas causas (ROCHA, 2002, p. 26-27).

Um dos primeiros pensadores sobre os movimentos foi Zenão, de Eléia (500 a.C – 451 a.C.). Zenão imaginou o seguinte experimento: dois bastões, A e C, apresentam velocidades determinadas em relação a um bastão B que está fixo (neste caso, considera-se fixo em relação a um determinado Referencial que na história não é evidenciado). Supõe-se que os bastões A e C apresentem uma velocidade constante de módulo igual a v . Os bastões movem-se na mesma direção, porém em sentidos opostos, como mostra a figura abaixo:

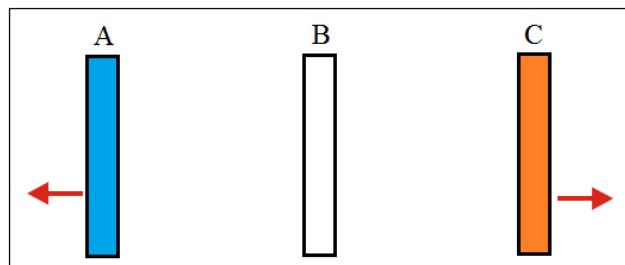


Figura 12

Um observador em A mensuraria uma velocidade duas vezes maior para o bastão C do que para o bastão B. Assim como um observador em C mensuraria uma velocidade duas vezes maior para A do que para o bastão B. Segundo Zenão isso era impossível e passou a chamar tal fenômeno de “O paradoxo dos bastões em movimento” (WOLLF e MORS, 2005, p. 11).

Outro filósofo a estudar os movimentos foi o grego Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.). Baseado na sua intuição, cria as primeiras leis da mecânica: corpos mais pesados vão para baixo; corpos mais leves para cima; e os movimentos horizontais necessitam de forças para serem produzidos e/ou mantidos. Para Aristóteles, a motivação não era saber **por que** um corpo se move, mas sim **para que**. Para ele, um corpo tende, sempre, a ocupar o seu lugar natural no universo.

Assim, cada um dos quatro elementos terrestres - fogo, água, ar e terra - possuiria um lugar natural. Ao soltar uma pedra de certa altura, a pedra se move para baixo por ser mais pesada, buscando então seu lugar natural. Já para se deslocar um

corpo seria necessária uma ação violenta, ou seja, que faz com que o corpo se afaste de seu lugar natural (movimento violento). Por exemplo, se o lugar natural de um corpo é ficar parado, para colocá-lo em movimento seria necessária uma ação violenta (contrária à natural) para pô-lo e mantê-lo em movimento. Ao cessar esta ação, o corpo voltaria a seu lugar natural, descrevendo um movimento natural, ou seja, pararia.

Somente nos séculos XVI e XVII é que as ideias de Aristóteles começaram a ser contestadas com mais veemência, principalmente no que diz respeito à ideia do geocentrismo⁷. Giordano Bruno (1548 – 1600) e Galileu Galilei (1564 - 1642), utilizando expressões matemáticas e não somente filosóficas como as de Aristóteles, começaram a reformular a mecânica. Eles conseguiram dar uma resposta plausível para o paradoxo dos bastões em movimento de Zenão, que retratava a velocidade relativa de corpos em movimento. A resposta para tal paradoxo pode ser analisado da seguinte maneira: suponha que um observador A esteja em repouso sobre uma plataforma que se encontra parada em relação a um observador B. O observador B está parado em relação a um Referencial fixo no solo. Suponha agora que o observador A jogue uma pedra para cima (vide figura abaixo). Qual seria a trajetória da pedra observada pelos observadores A e B? Com certeza, para ambos, a trajetória observada seria retilínea.

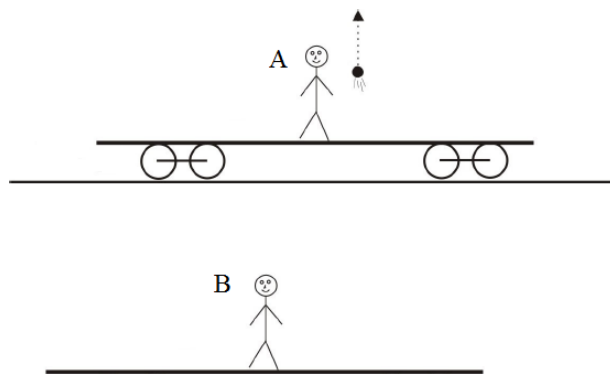


Figura 13

Supõe-se agora que, ao invés da plataforma se encontrar parada em relação a um Referencial fixo no solo, ela esteja em movimento com velocidade v constante em relação ao mesmo Referencial. Qual seria a trajetória da pedra observada pelos

⁷ Teoria que considerava a Terra como localizada no centro do universo.

observadores A e B? A mesma que antes ou diferente? O observador A irá analisar a trajetória da pedra como uma subida e uma descida simplesmente. Já o observador B analisará, além de um movimento de subida e outro de descida, um movimento na direção horizontal, já que a pedra, ao ser lançada, possui uma velocidade nesta direção (que é a mesma do observador A e da plataforma). Assim, as trajetórias observadas por A e B serão diferentes neste caso em relação ao caso anterior, quando ambos estavam parados. Enquanto que para o observador A a trajetória é retilínea, para B a trajetória observada para a pedra é parabólica, como mostra a figura abaixo.

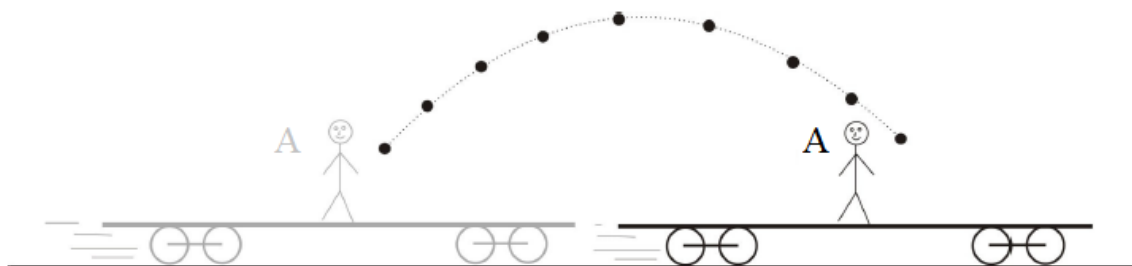


Figura 14

Assim, um movimento analisado a partir de um Referencial (fixo na plataforma) pode ser diferente quando analisado a partir de outro Referencial (fixo no solo).

A respeito da importância do Referencial, pode-se citar o filósofo John Locke que escreveu, há duzentos anos, em seu grande tratado *Sobre o entendimento humano*:

Se encontrarmos as pedras do xadrez na mesma posição em que as deixamos, diremos que elas não foram movidas, ou permanecem imóveis, mesmo que o tabuleiro, nesse ínterim, tenha sido transportado para outro cômodo. Da mesma forma diremos que o tabuleiro não se moveu, se ele permanece no mesmo lugar em que se encontrava na cabina, embora o navio esteja andando. E diremos também que o navio se encontra no mesmo lugar, desde que se mantenha à mesma distância da terra, embora o globo tenha dado uma volta completa. Na verdade, as pedras de xadrez, o tabuleiro e o navio, tudo isso mudou de lugar em relação a corpos situados muito mais longe (*apud* WOLFF e MORS, 2005, p. 13).

Outro pensador sobre os movimentos foi Descartes (1596 – 1650) que, por volta de 1630, formula a sua Mecânica Cartesiana. Segundo Silveira (2002, p. 3):

A partir do pressuposto de que o Ser Perfeito que criou todos os corpos e lhes imprimiu movimento, impondo-lhes que o movimento fosse conservado, chegou Descartes ao Princípio da Conservação do Movimento Total no mundo físico; se assim não fosse, o Universo pararia, revelando uma imperfeição divina. Enunciou o Princípio da Inércia; afirmou que os corpos somente podem interagir por contato e negou a possibilidade de vácuo; deduziu que o movimento deve ser constituído por um rearranjo cíclico de corpos, isto é, que um número finito de corpos podem alterar as suas posições, sem criar vácuo, caso apenas se mova ao longo de uma malha fechada (teoria dos vórtices ou turbilhões). O peso dos corpos era consequência da ação por contato da corrente de matéria dirigida ao centro do vórtice associado ao planeta; os planetas moviam-se no vórtice solar.

Reunindo, além das suas, algumas ideias de Galileu, Descartes e Kepler, em 1687, Newton (1643 – 1727), publica seu livro intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios matemáticos da filosofia natural) contendo uma exposição da cinemática de Galileu e do movimento dos planetas descrito por Kepler. Nesta obra estão contidas as três leis que descrevem os movimentos e que, por sua vez, são a base da Mecânica Newtoniana (NEWTON, 1990, p. 15-16):

1. Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.
2. A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.
3. A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

Nota-se que para entender a mudança de movimento de um corpo ocasionada por uma força impressa a ele, prevista pela segunda lei do movimento de Newton, é necessário que se conheça o movimento do corpo antes da força ser impressa. Exposto isso, a primeira lei não pode ser vista como um caso particular da segunda, já que se a primeira não existisse a segunda não faria sentido. A primeira lei cria assim sistemas de Referenciais Inerciais, sem os quais a segunda lei não é necessariamente verdadeira e nem sequer uma lei.

Matematicamente, a segunda lei de Newton pode ser expressa da seguinte forma:

$$\vec{F}_R = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

Equação 6

Esta é uma equação diferencial linear de segunda ordem em \vec{r} e para a sua completa solução são necessárias duas constantes iniciais: a velocidade e a posição iniciais de um corpo de massa m . Isto significa que, se estas duas constantes iniciais forem conhecidas, a partir disto, pode-se saber em qualquer momento futuro onde o corpo estará e com que velocidade se moverá.

A Mecânica Clássica reinou absoluta nos séculos XVIII e XIX, devido também, principalmente, aos aprimoramentos filosóficos de Kant e matemáticos de Laplace, Lagrange e Hamilton. Hoje em dia ela é válida para uma gama de casos. A princípio, ela é válida para casos onde a velocidade dos corpos envolvidos em uma determinada situação é relativamente pequena frente à velocidade da luz⁸.

⁸ Velocidade de propagação da luz no vácuo (c) = 299.792.458 m/s.

3.2. Espaço Absoluto

Em seu livro intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Issac Newton, antes mesmo de mencionar as *leis do Movimento*, traz as definições de tempo absoluto, espaço absoluto e movimento absoluto.

I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa que é obtida através do movimento [...] (NEWTON, 1990 p. 7).

II - O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua posição com relação aos corpos, [...] (NEWTON, 1990 p. 7).

III – Movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro; e movimento relativo, a translação de um lugar relativo para outro [...] (NEWTON, 1990 p. 8).

Para tentar exemplificar tais conceitos e só então apresentar as *Leis do Movimento*, Newton explicita suas ideias em uma experiência aparentemente bem simples. O experimento consiste em suspender um recipiente por meio de uma longa corda. Primeiramente faz-se com que a corda fique fortemente torcida. Após, coloca-se um pouco de água dentro do recipiente. Assim que a água estiver em repouso em relação ao recipiente, a corda é liberada e, conseqüentemente, o recipiente começa a girar. Exemplifico com a figura abaixo:

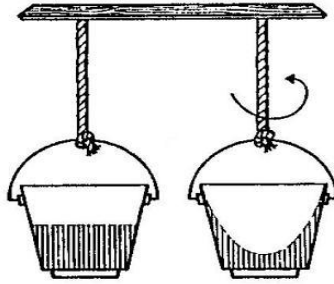


Figura 15

Newton explica este fenômeno da seguinte maneira:

As causas pelas quais movimentos verdadeiros e relativos são diferenciados um do outro são as forças imprimidas sobre os corpos para gerar movimento. O movimento verdadeiro não é nem gerado nem alterado, a não ser por alguma força imprimida sobre o corpo movido; mas o movimento relativo pode ser gerado ou alterado sem qualquer força imprimida sobre o corpo. [...] Os efeitos que distinguem movimento absoluto de relativo são as forças que agem no sentido de provocar um afastamento a partir do eixo do movimento circular. Pois não há tais forças em um movimento circular puramente relativo; mas em um movimento circular verdadeiro e absoluto elas são maiores ou menores, dependendo da quantidade de movimento (NEWTON, 1990, p. 11).

O problema está em como explicar o fato da superfície inicialmente estar plana e posteriormente apresentar uma superfície côncava. O que se consegue observar é que num momento inicial (a) não há velocidade relativa entre a água e o recipiente. Quando a corda é liberada, pelo fato do recipiente estar preso à corda, o recipiente começa a girar. Assim, passa a existir uma velocidade relativa entre a água e o recipiente, porém a superfície da água continua plana (b). Com o passar do tempo, devido à força de atrito entre a água e as paredes do recipiente, a água começa a se mover em relação, por exemplo, a um Referencial fixo no solo. Assim, a velocidade relativa entre a água e o balde torna-se nula novamente (assim como no instante anterior à liberação da corda). Porém, neste momento (c), a superfície da água é côncava e não mais plana como no início. Se repentinamente o recipiente for travado, a água continuaria seu movimento, apresentando uma superfície côncava (d):

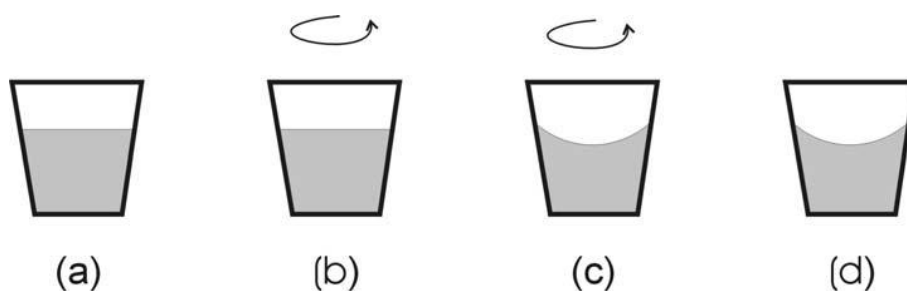


Figura 16

Baseando-se nas ideias de Newton, outros questionamentos surgem: o que causa esta mudança no formato da superfície da água? O que e quem age sobre a água que está no recipiente? Para responder a estas perguntas, pode-se pensar em três possíveis causas da concavidade da água:

- I – Sua rotação em relação ao recipiente;
- II – Sua rotação em relação à Terra;
- III – Sua rotação em relação às estrelas fixas⁹.

A primeira hipótese não pode ser a causa do movimento do formato da superfície da água porque tanto no momento inicial quanto no momento final as velocidades angulares¹⁰ da água e do recipiente são iguais. No início, antes da corda ser liberada, não havia velocidade relativa entre a água e o recipiente, assim como não havia no momento de máxima concavidade (c). Se em ambos os casos a velocidade relativa é a mesma, ou seja, nula, e o resultado observado empiricamente é diferente, a velocidade relativa entre a água e o recipiente não pode ser a causa de tal efeito.

A hipótese de que seria a Terra a responsável pelo movimento da água no recipiente também não pode ser válida, pois o próprio Newton elaborou a *Lei da Gravitação Universal* na qual afirma que as forças de atração entre dois corpos são

⁹ Para simplificar a análise, pode-se considerar o restante do universo, compreendendo a Via Láctea e as outras galáxias, como “estrelas fixas” que se situam a uma distância muito grande da Terra.

¹⁰ Velocidade angular é a velocidade relacionada à variação angular, normalmente vinculada a objetos em rotação.

mútuas. Ou seja, a força que é aplicada na água devido à Terra estaria orientada na direção vertical com sentido para o centro da Terra, e não para as paredes do recipiente (o que poderia acarretar na concavidade da superfície da água).

A terceira hipótese também não pode ser responsabilizada, pois:

De início, quando o movimento relativo da água no recipiente era máximo, não havia nenhum esforço para afastar-se do eixo; a água não mostrava nenhuma tendência à circunferência, nem nenhuma subida na direção dos lados do recipiente, mas mantinha uma superfície plana, e, portanto, seu movimento circular verdadeiro ainda não havia começado. Mas, posteriormente, quando o movimento relativo da água havia diminuído, a subida em direção aos lados do recipiente mostrou o esforço dessa para se afastar do eixo; e esse esforço mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente, até ter adquirido sua maior quantidade, quando a água ficou em repouso relativo no recipiente. E, portanto, esse esforço não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação (NEWTON, 1990, p. 12).

Além disso, como estas *estrelas fixas* estão muito distantes da Terra, nenhuma influência seria perceptível na experiência, já que quando a distância tende a infinito¹¹, a força de interação tende a ser nula. Isto mostra que, na Mecânica Newtoniana, a superfície côncava da água não pode ser explicada pela rotação da água em relação à Terra, nem em relação ao recipiente e nem em relação às estrelas fixas.

Newton, então, precisava encontrar uma causa para a superfície côncava da água. Segundo ele, este efeito devia-se à rotação da água em relação ao *espaço absoluto*. Ou seja, na primeira situação (a), a água estava em repouso em relação ao espaço absoluto enquanto que na situação final (c) a água estava se movendo em relação ao espaço absoluto. Para Newton, seria o movimento em relação ao espaço absoluto o responsável pela concavidade da superfície da água. Tendo como base a ideia do *espaço absoluto*, Newton descreve as três leis do movimento.

¹¹ Segundo Abbagnano (1998, p. 562), a palavra infinito significa “[...] uma disposição ou a qualidade de uma grandeza, [...] que pode ser percorrido, mas nunca de modo exaustivo ou completo”.

3.3. Referenciais Inerciais e não Inerciais

A Natureza e as leis da Natureza estavam ocultas na noite. Deus disse: Seja Newton! E tudo fez-se luz!. (POOPER *apud* ROCHA, 2002, p. 128).

Um sistema de referência requer um sistema de coordenadas e um conjunto de relógios, os quais permitem que o observador mensure posição, velocidade e aceleração no seu sistema de referência. Por conseguinte, as leis da Mecânica Clássica são aplicadas apenas para um determinado conjunto de sistemas de Referencias, no qual são válidas as leis de Newton. Neste conjunto, todos os observadores mensurariam a mesma aceleração para uma partícula em movimento retilíneo uniformemente variado, pois os sistemas de Referencias são ditos Inerciais.

Restringir-me-ei à análise dos Referenciais Inerciais, nos quais são válidas as leis de Newton. Para isto, tomarei como exemplo dois Referenciais Inerciais que coincidam os eixos oy_A e oy_B , A e B , assim como uma partícula p . A velocidade de B em relação à A mede v e a velocidade de p em relação à B mede v' . As distâncias entre os Referenciais A e B mede x (sendo $x=v.t$) e de B a p mede y (sendo $y=v'.t$), conforme a figura abaixo¹²:

¹² Nesta configuração, considerou-se que, no instante inicial, em $t=0$, a origem dos Referenciais, assim como a posição da partícula, coincidia.

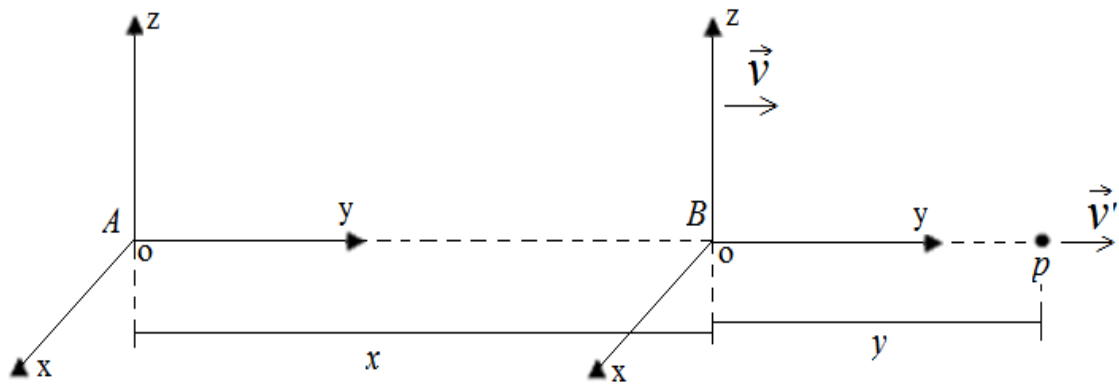


Figura 17

Um observador *a* utilizando-se do Referencial A faria as seguintes medidas para *p*:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } (x + y) = (v + v') \cdot t \\ \text{Velocidade: } (v + v') \end{array} \right.$$

Um observador *b* utilizando-se do Referencial B faria as seguintes medidas para *p*:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } y = v' \cdot t \\ \text{Velocidade: } v' \end{array} \right.$$

Isso mostra que dois observadores, por utilizarem diferentes Referenciais, farão medidas diferentes da partícula *p*, tanto em relação a sua posição quanto a sua velocidade. Mas isso acontece sempre? Sempre dois Referenciais farão medidas diferentes de posição e de velocidade de uma partícula? Pode-se considerar outra configuração:

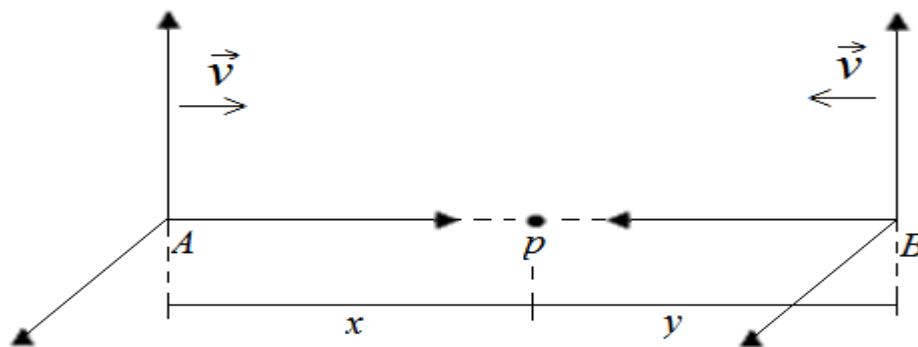


Figura 18

Os dois Referenciais estão se movendo em sentidos contrários em relação a um terceiro Referencial, o oposto da primeira configuração. Novamente analisam-se as medidas que os observadores *a* e *b* mensuram sobre *p*, respectivamente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } x = x_0 - v \cdot t \\ \text{Velocidade: } -v \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } y = y_0 - v \cdot t \\ \text{Velocidade: } -v \end{array} \right.$$

Se considerar que no instante inicial a partícula encontrava-se a mesma distância dos dois Referenciais, ou seja, $x_0 = y_0$, então dois observadores utilizando Referenciais diferentes fazem mensurações idênticas sobre a posição e a velocidade da partícula *p*. Outra configuração pode ser estabelecida, assim como as medidas observadas por *a* e *b*, respectivamente:

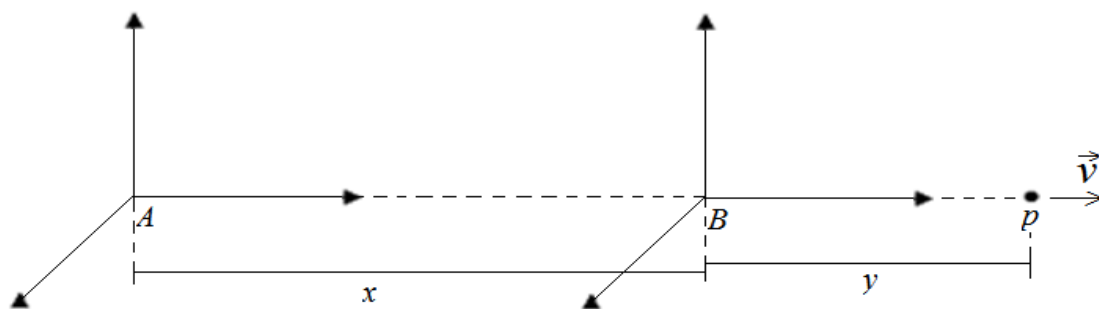


Figura 19

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } x + y \\ \text{Velocidade: } v' \end{array} \right. \qquad \left\{ \begin{array}{l} \text{Posição: } y \\ \text{Velocidade: } v' \end{array} \right.$$

Em um caso geral, uma equação que pode descrever estas relações de posição e de velocidade para dois Referenciais Inerciais é

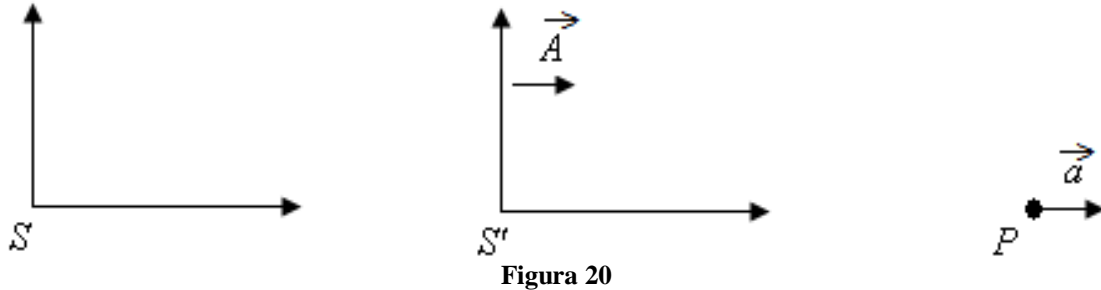
$$\vec{x}_{AB} = \vec{x}_{oAB} + \vec{v}_{AB} \cdot t$$

Equação 7

sendo \vec{x}_{AB} é o vetor posição no instante final do Referencial A em relação a B, \vec{x}_{oAB} é o vetor posição no instante inicial do Referencial A em relação a B, \vec{v}_{AB} é o vetor velocidade de A em relação a B e t é o instante de tempo qualquer. Com isso, analisados dois pontos espaciais, mesmo não possuindo velocidade relativa, ambos são possíveis pontos para se alocar um Referencial Inercial. Se houver velocidade relativa entre estes pontos, a distância entre eles muda, mas continuam sendo possíveis pontos para se alocar um Referencial Inercial. De uma forma mais simples, fixando um Referencial Inercial em um ponto do espaço, qualquer outro ponto que possa ser descrito pela *Equação 7* também será apto a alocar um Referencial Inercial. Com isso, o número de possíveis Referenciais Inerciais é infinito.

Interessado em analisar os Referenciais Inerciais, que, vale lembrar, são Referenciais que se movimentam com velocidade constante um em relação ao outro, nos quais os observadores mensuram a mesma força resultante, há a necessidade de se diferenciar dois sistemas de Referenciais: os Inerciais e os não Inerciais. Enquanto que um sistema de referência Inercial se caracteriza por um conjunto de Referenciais nos quais são válidas e aplicáveis as leis de Newton, tem-se no sistema de referência não Inercial justamente o oposto. Neste sistema, há Referenciais acelerados. Conforme a segunda lei de Newton, a aceleração de um determinado corpo é proporcional à força resultante atuante nele. Em outras palavras, existe aceleração se existir força resultante não nula sendo aplicada no corpo. Para exemplificar a diferença entre um Referencial

Inercial e um não Inercial, analiso o movimento de uma partícula P , conforme a figura abaixo:



Toma-se como S o Referencial Inercial e como S' o Referencial não Inercial, ambos analisando o movimento da partícula P . Em relação ao Referencial S , S' acelera numa taxa constante de valor \vec{A} , e a partícula P acelera também numa taxa constante, mas de valor \vec{a} . Com isso, pode-se afirmar que, de acordo com o Referencial S , há uma força resultante atuando na partícula de tal modo que provoque uma aceleração \vec{a} . Esta relação pode ser expressa pela segunda lei de Newton da seguinte forma:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Equação 8

Supondo que exista apenas uma força \vec{F} que provoque esta aceleração na partícula, então a equação 8 pode ser reescrita, resultando em:

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

Equação 9

Analisando-se o mesmo movimento da partícula, porém efetuando medidas a partir do Referencial S' , a aceleração da partícula será:

$$a' = a - A$$

Equação 10

Desta maneira, haveria uma segunda força atuando na partícula, denominada então como fictícia, já que não está associada a uma interação. Como na Mecânica Clássica a massa é invariante, esta força teria o seguinte valor:

$$\frac{F'}{m} = \frac{F}{m} - A$$

Equação 11

Como, no momento em que se aplicam as leis de Newton, surge uma força não existente, o Referencial adotado é dito não Inercial, não sendo válidas as leis de Newton. Note que se \vec{A} for nulo, ou seja, se S' não possuir aceleração, a força resultante em S' é a própria força \vec{F} analisada em S . Desta maneira, haveria dois Referenciais Inerciais, pois ambos medem a mesma aceleração da partícula.

Supondo-se agora dois Referenciais Inerciais, S_1 e S_2 . Ambos se movem com mesma velocidade \vec{v} constante em relação a um terceiro Referencial Inercial. Na origem do Referencial S_2 existe um objeto livre para se movimentar e que também se move com velocidade \vec{v} .

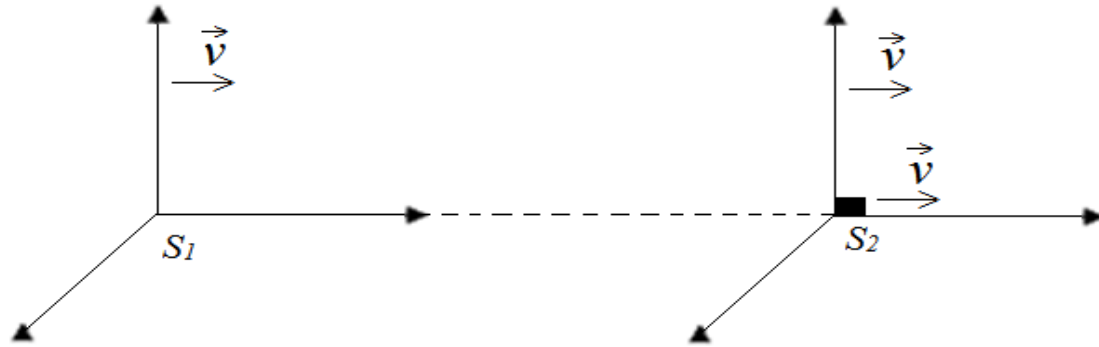


Figura 21

Supondo agora que o Referencial S_2 adquira uma desaceleração \vec{a} .

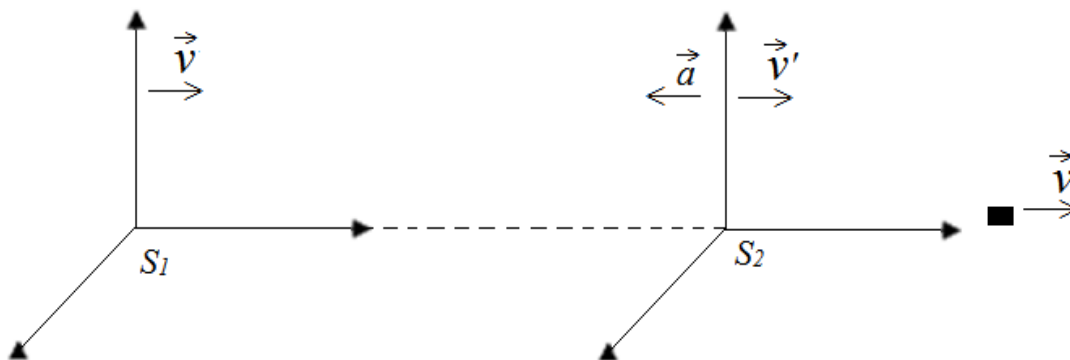


Figura 22

Como um observador, a partir de cada Referencial, analisa o movimento do objeto? Antes do Referencial S_2 desacelerar, tanto a partir de S_1 quanto a partir de S_2 , um observador analisa o objeto parado, já que não há velocidade relativa entre os Referenciais e o objeto. Se aplicarmos as leis de Newton para o objeto tomando como Referencial S_1 ou S_2 , para ambos o resultado seria a constatação de que não há força resultante atuando no objeto, já que sua aceleração é nula. Como as leis de Newton são válidas e consistentes, S_1 e S_2 são ditos Referenciais Inerciais.

Mas, ao se analisar o movimento do objeto após o início da frenagem de S_2 , nota-se algo diferente e inconsistente. Após S_2 adquirir uma desaceleração, nota-se que existe uma diferença de velocidade entre este Referencial e o objeto. Nenhum problema haveria se esta diferença fosse constante. Como S_2 está desacelerando, logo diminuindo sua velocidade no tempo, ocorre algo imprevisto quando se analisa o movimento do objeto pelas leis de Newton. De acordo com o Referencial S_1 , nada acontece com o movimento do objeto, continuando este em repouso. Ao se aplicar as leis de Newton, constata-se que a força resultante atuante no objeto continua nula, não havendo aceleração e conseqüente mudança de velocidade em relação a este Referencial, dito, então, Inercial. Mas, de acordo com o Referencial S_2 , o objeto adquire uma aceleração, pois varia sua velocidade em relação a este Referencial. Aplicando-se as leis de Newton, de acordo com a equação 8, a constatação seria de que existe uma força resultante atuando na partícula. Porém, esta força não existe, denominando-se, por isso, força fictícia. Então, para este Referencial, as leis de Newton não são válidas e o Referencial é dito não Inercial.

4. Metodologia da pesquisa

A experimentação será tanto mais proveitosa quanto mais dados imprevistos ela apresentar. (INHELDER, BOVET e SINCLAIR, 1977, p. 33).

Este trabalho caracteriza-se por ser um estudo embasado teoricamente na Epistemologia Genética de Jean Piaget. O referencial adotado, para a coleta de dados, é o do Método Clínico piagetiano, utilizado em pesquisas em Epistemologia e Psicologia Genéticas. O Método Clínico é um procedimento de coleta e análise de dados que fornece ao pesquisador uma possibilidade de compreensão do pensamento e dos comportamentos do sujeito. Ele é flexível para dar conta das inúmeras variáveis que podem surgir ao longo de uma experiência ou entrevista. Ao mesmo tempo, exige uma organização muito rápida das hipóteses e do pensamento do pesquisador. A entrevista clínica constitui-se de um

[...] interrogatório flexível adaptado a cada sujeito. A partir de algumas questões básicas, procura-se desenvolver um diálogo dirigido por hipóteses formuladas pelo examinador no decorrer da entrevista. Cada resposta dada pela criança leva à formulação de uma hipótese que engendra uma nova questão do examinador. É este encadeamento e sucessão de pergunta, resposta, nova hipótese, nova pergunta que dá coerência e unidade ao interrogatório (LEITE, 1995, p. 115).

Piaget (1926, p. 7) afirma que, no método de exploração crítica, o essencial é não induzir o pensamento, não sugerir a resposta, “mas em fazer falar livremente e em descobrir tendências espontâneas, em vez de canalizá-las e as conter. Consiste em situar qualquer sintoma dentro de um contexto mental, em vez de fazer abstração do contexto”. Não obstante, os processos de pensamento não são visíveis exclusivamente pela observação pura do comportamento. Segundo Piaget, o Método Clínico permite “ir

mais além da observação pura e, sem cair nos inconvenientes dos testes, alcançar as principais vantagens da experimentação” (PIAGET *apud* LEITE, 1995, p. 116). Além disso, o sujeito pode estar em alta atividade mental sem produzir qualquer ação observável. Por isso a importância do Método Clínico na coleta de dados, pois possibilita analisar o raciocínio empregado pelo sujeito e não somente a observação pura.

4.1. Objetivos

Por meio da Epistemologia Genética, busquei analisar as noções de Referencial Inercial de alunos da disciplina de Física I-C da UFRGS. Assim, pode-se pensar sobre como abordar os conteúdos da Mecânica Clássica em sala de aula partindo de uma metodologia que coloque o aluno como um sujeito ativo frente a sua aprendizagem. Isso se julga necessário já que toda a Mecânica Clássica é descrita por meio de determinados sistemas de referência. Entender quais as noções que os alunos têm e sua compreensão do que é um Referencial foi o que me motivou a realizar este trabalho.

4.2. Participantes

Esta investigação teve como sujeitos dezessete alunos regularmente matriculados na disciplina Física I-C, oferecida pelo Instituto de Física da UFRGS para alunos das Engenharias, Química e Ciência da Computação.

A escolha por alunos do Ensino Superior se julgou interessante para analisar as noções de Referencial Inercial que eles trazem consigo e que, agora no Ensino Superior, mais do que nunca se faz necessária para a construção do conhecimento no que se refere aos conteúdos da Mecânica Clássica abordados na disciplina. Além disso, como ex-professor substituto no Instituto de Física desta Universidade, observava explicitamente as dificuldades de meus alunos frente à escolha de um Referencial. Por isso a motivação de investigar tais noções de meus alunos¹³.

4.3. Procedimento de coleta de dados

O primeiro contato com os sujeitos se deu por meio de mensagem enviada por correio eletrônico, já que, como professor, tinha acesso aos seus endereços eletrônicos. Foi enviada uma mensagem para cerca de cinquenta alunos, explicitando qual a intenção da pesquisa, assim como os procedimentos para a coleta de dados caso aceitasse participar. Após uma semana, em torno de trinta alunos responderam, também por correio eletrônico, que gostariam e estariam de prontidão a participar da pesquisa. Com isso, foram feitas as combinações de horário e local onde seria realizada a coleta de dados com cada aluno.

A coleta de dados foi feita individualmente e se deu com o auxílio de um gravador de áudio no formato mp3¹⁴. Antes de iniciar a entrevista, esclareceu-se que a gravação era necessária para a posterior análise. Além disso, os entrevistados foram representados por números, garantindo o anonimato. O equipamento foi montado em uma sala de laboratório no Instituto de Física da UFRGS e lá permaneceu cerca de vinte dias, tempo necessário para a realização das entrevistas. Dos trinta alunos, oito não compareceram na data, local e horário combinados para a entrevista. Foram realizadas

¹³ Todos os alunos que participaram desta pesquisa foram meus alunos na disciplina Física I-C.

¹⁴ MPEG 1 Layer-3 (camada 3). Trata-se de um padrão de arquivos digitais de áudio estabelecido pelo Moving Picture Experts Group (MPEG).

quinze entrevistas e o indicativo para o término da coleta de dados foi a saturação das respostas. As entrevistas foram transcritas em formato docx¹⁵, o que auxiliou nas análises.

Cada sujeito assinou um termo de consentimento para a realização da pesquisa. As entrevistas duraram, em média, vinte minutos e transcorreram de maneira contínua.

4.4. Instrumentos para a coleta de dados

Tomando como base o Método Clínico piagetiano, construí alguns materiais para auxiliar na coleta de dados, assim como um protocolo de perguntas que versou sobre as conclusões que os sujeitos podem fazer frente ao Método Clínico que busca evidenciar noções de Referencial Inercial. Inicialmente investigou-se se o entrevistado entendia a terminologia utilizada, para que esta não fosse um empecilho na análise de sua fala. Ao longo da entrevista foram utilizadas contra argumentações que permitiam ao sujeito operar sobre os conteúdos, evitando respostas prontas e automáticas. Segundo Delval (2002, p. 146), as contra-argumentações ou contra-sugestões tratam de “[...] apresentar ao sujeito uma explicação distinta ou contrária à sua para ver se persiste nela, o que poderia revelar que sua convicção é firme e não produto de uma sugestão de nossa parte”.

Para a análise que propus, considerei necessário dividir o protocolo em três etapas, cujos detalhes seguem abaixo:

¹⁵ docx é uma extensão dos ficheiros do Microsoft Word 2007.

Etapa 1 – Adoção implícita de um Referencial para calcular a posição.

O sujeito e o entrevistador estão próximos a uma mesa, sobre a qual se encontra um objeto esférico de raio 0,5 cm. O objetivo desta etapa é que o sujeito indique a posição do objeto sobre a mesa, mensurando-a por meio de uma fita métrica, se o achar necessário. A utilização de um objeto esférico se fez necessário, pois com a utilização de outro objeto, o termo “posição” poderia ser entendido a respeito dos limites espaciais do objeto em relação aos limites espaciais de outro. Por exemplo, ao se utilizar um carrinho para esta análise, abriu-se margem para ideias como “*o lado do carrinho é paralelo à parede*” em referência à sua posição.

Assim, algumas perguntas, tomadas como principais, foram feitas (expressas abaixo). Isso não quer dizer que apenas estas perguntas foram realizadas ao longo da entrevista. Cada sujeito pode agir de um modo diferente sobre as perguntas e isso leva a perguntas secundárias, e estas, por sua vez, conduzem a perguntas terciárias e assim sucessivamente. Abaixo explicito algumas delas:

1.1. Como calcularias a posição do objeto que está sobre a mesa?

1.2. Esta posição poderia ser diferente? Como? (Esta posição poderia ser diferente se não pudesses tocar no objeto?)

1.3. Terias outra maneira de medir ou não? Qual? Haveria quantas maneiras de medir a posição deste objeto?

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa

O objetivo desta etapa é tentar detectar não somente a noção de Referencial Inercial que o sujeito tem, mas, sim, analisar também o que o sujeito julga ser um possível Referencial e como os diferencia. Para isso dispõe-se de seis bonecos A, B, C, D, E e F. Cada boneco encontra-se sobre um carrinho, respectivamente, *a, b, c, d, e e f*.

Inicialmente todos estão parados em relação a um Referencial fixo na mesa. Por meio de um dispositivo construído, em relação ao Referencial fixo na mesa, a e b ficam parados, c e d adquirem uma velocidade V , e adquire uma velocidade $2V$ e f uma velocidade $-V$. Para maior esclarecimento, abaixo se encontra uma representação espacial do equipamento.

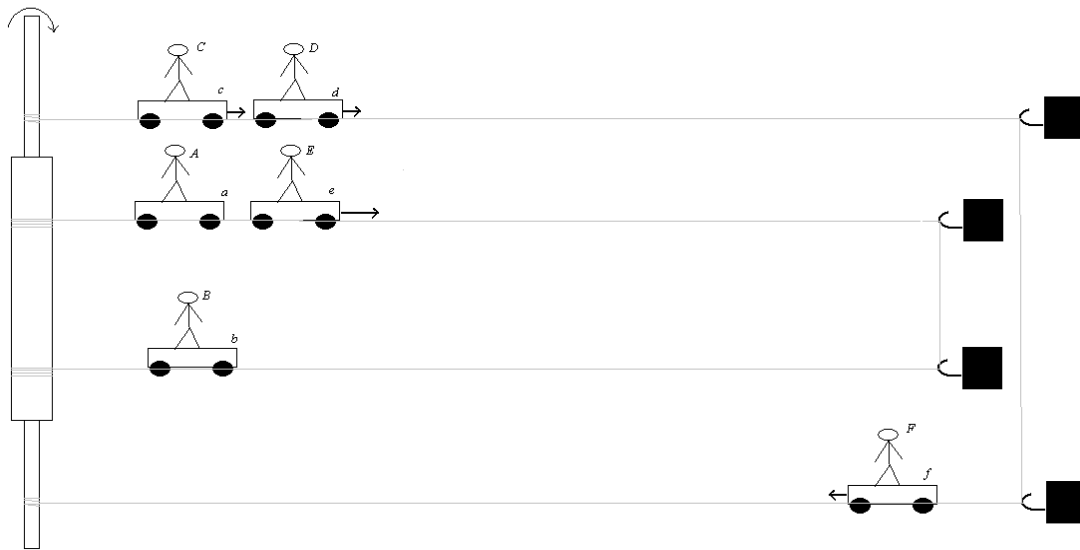


Figura 23

Com isso, algumas perguntas feitas estão expressas abaixo:

- 2.1. De acordo com essa configuração espacial, quantos Referenciais existem? Quais? Por quê? Poderias dizer o número?
- 2.2. (retira-se o boneco A). De acordo com essa configuração espacial, quantos Referenciais existem? Quais? Por quê?
- 2.3. (retira-se o boneco E). De acordo com essa configuração espacial, quantos Referenciais existem? Quais? Por quê?
- 2.4. Como B vê C? (com que velocidade?)
- 2.5. Como C vê B? (com que velocidade?)
- 2.6. A e B são Referenciais diferentes ou são iguais? Por quê? (Se são diferentes, por que eles mensuram a mesma velocidade?)

Etapa 3 - Diferença entre Referencial Inercial e não Inercial

Foi construída uma plataforma de madeira de 2m de comprimento e 0,40m de largura que possui três eixos (com duas rodas cada) que auxiliaram seu movimento sobre uma superfície plana. Nesta plataforma existe uma região que serve como assento para o entrevistado. Sobre a plataforma e na frente do assento é colocada uma esfera de ferro sobre um trilho, estando a esfera livre para se movimentar no sentido do movimento da plataforma. A plataforma pode ser movimentada por três metros, até que um fio elástico, preso nela e num ponto fixo ao chão, estique e desacelere a plataforma. Esta é colocada em movimento por meio da ação do entrevistador e após um pequeno intervalo de tempo adquire velocidade constante. Posteriormente, o fio elástico começa a ser esticado, desacelerando a plataforma e fazendo que entre em repouso após alguns segundos. O objetivo desta etapa é confrontar o sujeito com a análise de um movimento por meio de duas perspectivas físicas diferentes. Na primeira, quando o sujeito encontra-se sobre a plataforma, ao tomar um Referencial fixo em seu corpo, o Referencial seria não Inercial. Na segunda, quando o sujeito encontra-se parado em relação ao solo, fora da plataforma, o Referencial, fixo em seu corpo, seria Inercial.

Inicialmente, o sistema cadeira-entrevistado-esfera-trilho está em repouso em relação ao solo. Uma pessoa, estando sobre a plataforma, observa, neste instante, a esfera em repouso já que a distância entre a pessoa e a esfera é constante.

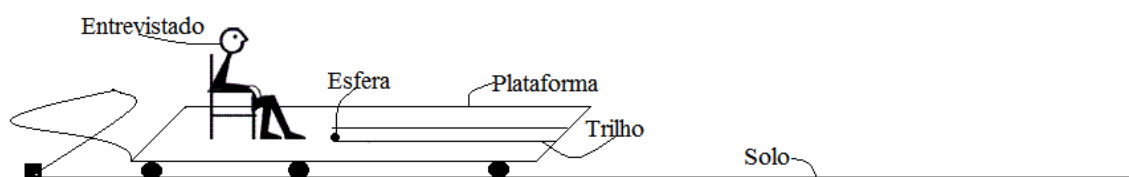


Figura 24*

O sistema cadeira-entrevistado-esfera-trilho começa a acelerar quando o pesquisador aplica uma força sobre a plataforma. Uma pessoa sobre a plataforma observaria a esfera em repouso e o solo em movimento. Na perspectiva de um Referencial fixo no solo, o sistema cadeira-entrevistado-esfera-trilho se moveria com velocidade igual a V .

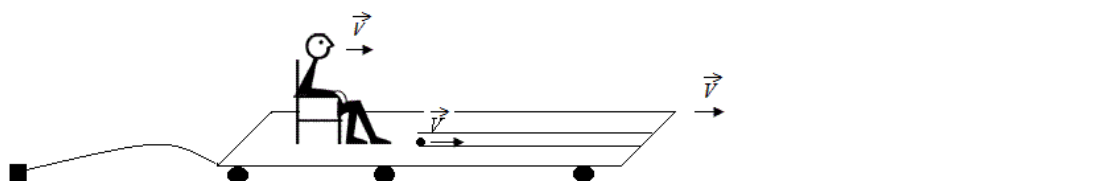


Figura 25*

Quando o pesquisador para de aplicar a força, o fio elástico começa a ser esticado, aplicando, assim, uma força sobre a plataforma contrária a seu movimento. O entrevistado, a plataforma e o trilho, em relação a um Referencial fixo no solo, têm uma velocidade V' que diminui no decorrer do tempo. A esfera, por sua vez, continua se movendo com velocidade igual a V , pois nenhuma força na direção do movimento faz com que essa velocidade seja alterada¹⁶.

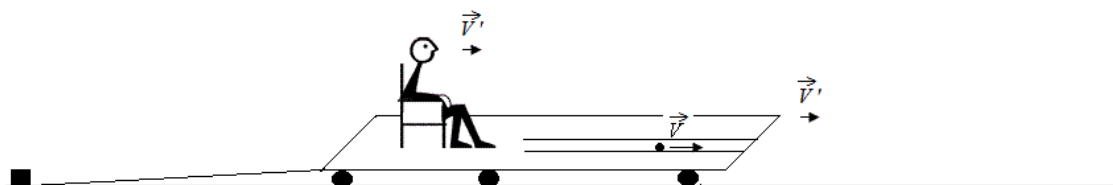


Figura 26*

Num certo instante de tempo, o fio elástico tem sua elongação máxima. O entrevistado, a plataforma e o trilho estão novamente em repouso em relação a um Referencial fixo no solo.

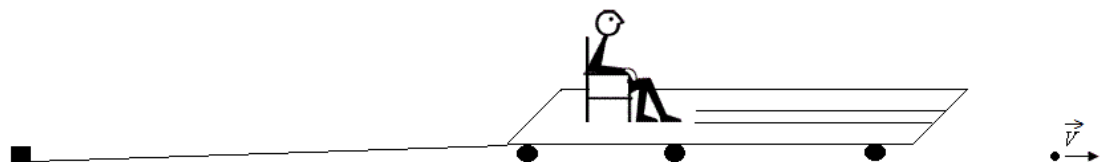


Figura 27*

* As figuras estão na perspectiva de um observador em repouso em relação ao solo.

¹⁶ Considera-se que a força de atrito entre as superfícies da esfera e do trilho são pequenas o suficiente para não alterar a velocidade da esfera.

Após o procedimento prático¹⁷, algumas perguntas foram feitas aos sujeitos. As principais são descritas abaixo:

- 3.1. Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso?
- 3.2. Inicialmente, observaste a bolinha em movimento ou parada? Sempre? Por quê?
- 3.3. Haveria algum Referencial que mensurasse a velocidade da bolinha sempre a mesma?
- 3.4. Haveria algum Referencial que mensurasse tua velocidade sempre constante?

Quando houve necessidade, realizou-se o mesmo experimento, mas com o sujeito não estando sobre a plataforma, mas, sim, olhando-a lateralmente, parado em relação ao solo. As principais perguntas feitas foram as mesmas 3.1, 3.2 e 3.3. Além disso, pediu-se também que o sujeito comparasse os dois casos, normalmente sendo feita a seguinte pergunta:

- 3.5. Tu identificas alguma diferença entre os momentos em que tu estavas sobre a plataforma e quando estavas fora dela ou não? (Em caso de resposta afirmativa) Quais?

4.5. O método de coleta de dados

Com o objetivo de mostrar a forma como foi feita a coleta de dados, abaixo são transcritas integralmente duas entrevistas. Acredito que isso seja interessante para

¹⁷ Alguns sujeitos, para responder as perguntas feitas, pediram para realizar novamente a experiência.

mostrar a dinamicidade do método aplicado, possibilitando analisar não somente os resultados, mas os processos que levam a tal resultado.

(Sujeito A – Etapa 1) - Como que tu identificarias a posição do objeto? *A posição dele em relação à?...mesa? Tu quem sabe. Em relação ao canto (lateral A da mesa). Poderia haver outra medida?* (mede com a lateral B da mesa). **Se tu desses essa medida a uma pessoa, tu achas que essa pessoa com certeza colocaria aqui?** *Não. Porque ela poderia colocar em qualquer posição que estivesse a 17,5 polegadas, mas de zero até o final da mesa nesta direção (perpendicular à lateral A da mesa). E para ter certeza?* *Daria as duas coordenadas, daqui (lateral A da mesa) até aqui (bolinha) e daqui (lateral B da mesa) até aqui (bolinha). Haveria outra forma de medir?* *Se eu colocar a origem (do Referencial) embaixo da bolinha. Tu achas que haveria quantas formas de medir?* *Provavelmente tu tens infinitas formas de medição, porque adotando pontos de referência distintos, também seriam outras medições. Porque tu podes adotar qualquer ponto como referência. Posso adotar o canto, a 1 cm da bolinha... mesmo que eu adotar a 1 cm da bolinha, já vai ter infinitas, pelo raio com infinitas posições.*

(Sujeito A – Etapa 2) – Há quantos Referenciais? *Os bonecos que estão parados, que estão no mesmo Referencial da mesa. Poderia ter um neste (C) ou neste (D) que é a mesma coisa, outro nesse (E), poderia ser este (F). Qualquer um destes poderia ser um Referencial. Em números. sete (seis observadores e a mesa). É, seria seis, porque a mesa serve para um ponto fixo. Seis ou infinitos considerando qualquer ponto da mesa. Qual a velocidade que C observa para E?* *Velocidade v . Qual a velocidade que D observa para E?* *v também. Se eles observam a mesma coisa, não seria o mesmo Referencial?* *Não, porque a posição deles é diferente em relação ao que está com $2v$. Um entrevistado disse que há quatro Referenciais. Não concordo, chegou a passar pela minha cabeça isso, mas não concordo. Porque, tudo bem que a velocidade observada por aqueles dois vai ser a mesma, mas se tu fores medir as distâncias vai ser diferente. Um entrevistado afirmou que há Referenciais para medir velocidade e Referenciais para medir posição. Não, o número de Referenciais continua o mesmo, mas pode haver coincidência da velocidade ser a mesma.*

(Sujeito A – Etapa 3) - Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso? *Depois que tu soltaste, eu comecei a desacelerar e a bolinha não. Em algum momento a velocidade da bolinha é nula?* *Em relação a mim sim, até tu soltar. Em relação ao chão, depois que tu soltaste não. Há ou não algum Referencial que observasse a bolinha sempre com a mesma velocidade?* *Acho que não. Em relação a ti, a velocidade é sempre a mesma ou é diferente?* *Não, porque ela adquire velocidade em relação a mim. Porque tinha uma força exercida tanto em mim quanto nela. Haveria ou não algum Referencial que medisse a velocidade do carrinho sempre constante?* *Acho que sim, talvez uma pessoa parada. E porque tu achas que há essa diferença (entre tuas observações)?* *Porque eu estava desacelerando. Porque na verdade quem estava com aceleração era eu e não a bolinha.*

(Sujeito B – Etapa 1) - Como que tu identificarias a posição do objeto? *Eu teria que ter um ponto inicial, uma origem, que poderia ser aqui (ponto qualquer da lateral A da mesa). Daí calculo o espaço que há entre eles. Seria a posição. (translado retilíneo). A posição é diferente, pois tu moveste em outro eixo. Por exemplo, um eixo x e outro z. Neste daqui (x) esta a mesma distância, mas em z modificou. A posição não é a mesma, mas a distância é, mas aí teria que ter uma nova origem, aqui (compensa o movimento da bolinha). A não ser que eu queira saber em relação a esta origem inicial, daí variou com certeza a distância. **Haveria ou não outra maneira?** Talvez haja outra, mas eu não estou vendo. **Se eu pegar a trena e medir daqui (ponto qualquer na lateral B da mesa) até a bolinha.** Ah... sim, sim. É que vai depender do teu ponto inicial daí, do ponto de referência. **Haveria ou não outra?** Milhares, centenas. Poderia pegar a medida dos cantos da mesa, analisar o ângulo. Infinitas, se eu pegar daqui até o prédio de cálculo poderia medir também.*

(Sujeito B – Etapa 2) – Há quantos Referenciais? *Poderia ter um em cada carro, mas daí estes dois (A e B) seriam o mesmo..... ãããã....não. Poderia ter seis Referenciais. **Tu falaste que estes dois estão parados. Eles são dois Referenciais ou é um?** Dois por causa da posição deles que é diferente. **Qual a velocidade que C observa para E?** v . **Qual a velocidade que D observa para E?** v também. **Se eles observam a mesma coisa, não seria o mesmo Referencial?** Não, por causa da posição deles. **Um entrevistado afirmou que haveria Referenciais para medir velocidade... pois é, estava pensando assim também... E Referenciais para medir posição.** É que se tu fores analisar os Referenciais pela velocidade, terias quatro. (desligo o equipamento). **E agora?** Depende, se fores analisar pelo espaço... aí haveria seis de novo. Mas calculando a velocidade haveria um. Não, não, infinitos porque eu posso pegar este ponto, este, este, este... (para posição).*

(Sujeito B – Etapa 3) - Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso? *Ela permanece com a mesma velocidade do instante em que tu soltaste. Ela permaneceu com aquela velocidade e o carrinho desacelerou. **Foi o que tu observaste?** Não, eu observei ela se distanciando de mim, digamos, acelerada. **A velocidade da bolinha foi sempre a mesma?** Não, como o skate desacelerou, e ela, em relação a mim, acelerou no momento. **Haveria ou não algum Referencial que observasse a velocidade da bolinha sempre a mesma?** Alguém fora, no solo. **E porque tu achas que alguém de fora observaria algo diferente do que tu?** Porque minha posição também variou. Eu estava me movendo e depois parei.*

5. Análise e discussão dos dados

O título deste trabalho pode trazer a ideia de que estou procurando somente as noções dos sujeitos entrevistados, como se o objetivo e motivação estivesse em encontrá-las sem nada analisar além da pura constatação. Procurei, além disto, analisar como os sujeitos agem frente a relações que podem ser conflituosas. Para isso, se fez necessário utilizar uma técnica que possibilite não somente identificar as noções já estabelecidas, mas também a mobilidade de tais noções e o quão estáveis elas se apresentam frente aos problemas propostos. Assim, meu interesse está também em compreender a ação dos sujeitos frente a um conflito cognitivo.

Muitas das pesquisas feitas sobre o ensino de Física (ARRUDA e VILLANI, 1994; SILVEIRA, MOREIRA e AXT, 1986; PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN e MOREIRA, 1992; GRAVINA e BUCHWEITZ, 1994; DRIVER *et al*, 1999) buscam investigar as *concepções alternativas* dos alunos. Estas concepções são ditas *alternativas*, pois não condizem com a realidade científica. Dito de outra forma, *concepções alternativas* são modelos, construtos, significados contextualmente errôneos, ou seja, não compartilhados pela comunidade científica.

Porém, este trabalho busca ir além da constatação de *concepções alternativas*. Principalmente porque muitos dos sujeitos entrevistados se desequilibram frente a evidências experimentais conflitantes. Para Piaget (1983, p. 224-225),

[...] uma descoberta, uma noção nova, uma afirmação, etc., devem se equilibrar com as outras. É necessário todo um jogo de regulação e de compensações para atingir uma coerência. Tomo a palavra “equilíbrio”, não num sentido estático, mas no sentido de uma equilibração progressiva, a equilibração sendo a compensação por reação do sujeito às perturbações exteriores [...].

Buscando retomar o equilíbrio cognitivo, o sujeito se reorganiza, e é nesta reorganização que também estou interessado. Isso, para mim, só pode ser entendido

como um processo estrutural. Como assim entendo, busquei analisar os processos mentais envolvidos e assim compreender como os sujeitos, retomando o equilíbrio estrutural, modificam ou não suas noções frente às situações postas.

Piaget (1970), em *A construção do real na criança*, relata que, se perguntar a uma criança, por volta dos quatro anos de idade “de onde vem o vento?” ela provavelmente responderá que “vem das árvores”. Isso caracterizaria uma *concepção alternativa* da criança frente a este tema. Porém, se perguntar para uma criança que sempre viveu em uma área desértica, sem o contato de árvores, provavelmente responderia que viria “da areia”. Isso caracterizaria outra *concepção alternativa*. Para mim, esta distinção é apenas frente ao conteúdo, e não à forma (estrutural). Para Piaget (1971, p. 344)

[...] existe complementaridade total entre o conteúdo e a forma do pensamento, com o conteúdo consistindo nos dados do mundo tal como ele é percebido e a forma consistindo o único dispositivo que permite passar do estado T deste mundo para o estado T-1, ou seja, tornar a realidade reversível pelo pensamento.

Estruturalmente, ambas as crianças demonstram um mesmo nível de raciocínio, atribuindo explicações baseadas numa causalidade mágico-fenomenista. Assim, as noções que encontrei não podem ser pensadas como diferenças de conteúdos, mas, sim, caracterizam níveis de organização estrutural.

Visando analisar os níveis de organização estrutural empregados pelos sujeitos em relação ao que seria um Referencial, baseando-me no projeto de mestrado, defendido e aprovado pela comissão julgadora, assim como em minha experiência de professor de Física e em trabalhos meus já publicados, minhas hipóteses eram as seguintes:

- I. Noção relacionada ao número de objetos e observadores;
- II. Noção relacionada ao número apenas de observadores;

- III. Noção relacionada à velocidade relativa entre observadores;
- IV. Noção de Referencial não relacionado aos observadores;
- V. Noção de Referencial relacionado a pontos espaciais em número ilimitado desvinculados de objetos e observadores.

Por meio da análise dos dados, achei interessante categorizar alguns aspectos comuns do pensamento dos entrevistados. Isso ajudou na análise dos dados no sentido de como se coordenam duas ou mais categorias e saber o porquê. Para isso, achei necessária a construção de um gráfico que possibilitasse uma visão mais geral das respostas encontradas, ajudando, assim, a construir uma interpretação sobre o que há de comum nas entrevistas dos sujeitos. Para a construção do gráfico, busquei identificar algumas categorias que achei ser interessantes para o que propus investigar:

- Referencial Privilegiado - Dentre os possíveis Referenciais, existe um privilegiado;
- Vetor Posição – A posição de um objeto é compreendida como uma grandeza vetorial;
- Referencial → Objeto - Um Referencial implica um objeto;
- Referencial → Observador - Um Referencial implica um observador;
- Referencial → Objetos ou Observadores em número limitado – Um Referencial implica objetos ou observadores em número limitado;
- Egocentrismo – Há um forte egocentrismo no sentido do sujeito não conseguir coordenar diferentes pontos de vista;
- Diferença de Referenciais → Campo Visual - A diferença de dois ou mais Referenciais se dá pelo quê o observador consegue visualizar, pela projeção de sua visão;
- Diferença de Referenciais → Posição relativa - A diferença de dois ou mais Referenciais se dá pela posição relativa entre eles;
- Diferença de Referenciais → Velocidade relativa – A diferença de dois ou mais Referenciais se dá pela velocidade relativa entre eles;

- Referencial p/ Posição \neq Referencial p/ Velocidade – Há diferença entre Referenciais que mensuram posição e Referenciais que mensuram velocidade;
- Referencial \rightarrow Objetos ou Observadores em número ilimitado – Um Referencial implica objetos ou observadores em número ilimitado;
- Referencial Inercial \neq Referencial não Inercial - Há distinção entre Referenciais Inerciais e não Inerciais.
- Referencial $\overline{\rightarrow}$ Objetos e/ou Observadores - Um Referencial não implica objetos ou observadores. O Referencial é desvinculado de objetos e/ou observadores.

O gráfico abaixo representa o número de sujeitos que apresentam, em suas entrevistas, as categorias descritas anteriormente:

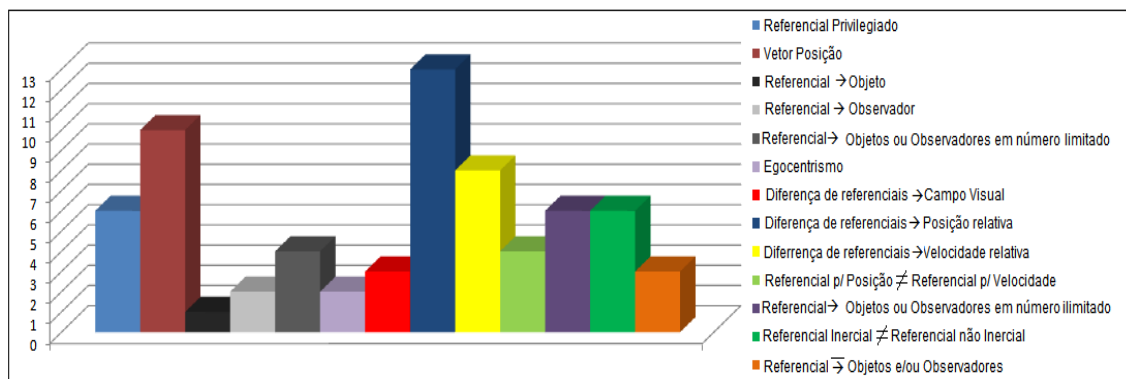


Gráfico 1

Relacionando as hipóteses com o gráfico construído a partir da análise das entrevistas, compreendo que as hipóteses I, II e V revelam um pensamento que têm uma diferença estrutural marcante, acompanhada por um processo de descentração do pensamento dos sujeitos. Com esta análise, pude concluir que a hipótese IV está incluída na V, pois se um nível de organização estrutural possibilita relacionar um Referencial desvinculado de observadores, isso significa afirmar que o Referencial não é um observador (hipótese IV). Além disso, e isso apareceu claramente nos dados coletados, a hipótese III seria algo a ser analisado separadamente, pois está relacionada ao **como** o sujeito distingue dois ou mais Referenciais.

Ao que se refere à noção de um Referencial ser ou não Inercial, a hipótese era encontrar três níveis:

- I. Sujeitos que analisam os movimentos a partir de um Referencial absoluto (Ayala e Frezza, 2007).
- II. Sujeitos que não diferenciam Referenciais Inerciais de não Inerciais;
- III. Sujeitos que diferenciam Referenciais Inerciais de não Inerciais;

Este trabalho veio a confirmar tais hipóteses, mas com um diferencial. Todos os sujeitos do nível I automaticamente se enquadraram no nível II. Ou seja, os sujeitos que analisam um determinado fenômeno por meio de um Referencial privilegiado não diferenciam Referenciais Inerciais de não Inerciais. Isso possibilitou concluir que o nível II não se constitui como nível propriamente dito. Assim, os sujeitos, frente esta análise, apresentaram dois níveis de organização: sujeitos que analisam a partir de um Referencial privilegiado; e sujeitos que diferenciam Referenciais Inerciais de não Inerciais.

Assim, relacionando as hipóteses e os dados coletados neste trabalho, consegui distinguir três pontos de análise. Trata-se de analisar:

1. Como os sujeitos concebem um Referencial;
2. Como os sujeitos distinguem dois ou mais Referenciais;
3. Como os sujeitos diferenciam (ou não) um Referencial Inercial de um não Inercial.

Para o primeiro ponto de análise – a concepção de Referencial – quatro níveis de organização estrutural foram encontrados:

- 1.1. Nível I – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número limitado, como sendo um observador;

- 1.2. Nível IIA – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número limitado, como sendo observadores ou objetos físicos;
- 1.3. Nível IIB – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número ilimitado, como sendo observadores ou objetos físicos;
- 1.4. Nível III – Os sujeitos desvinculam o Referencial de objetos físicos e de observadores.

O segundo ponto de análise, que busca analisar como os sujeitos distinguem dois ou mais Referenciais, não pode ser analisado de forma separada do primeiro ponto, já que implica diretamente a noção do que é um Referencial. Neste ponto de análise, diferenciei os tipos de respostas encontradas em modelos;

- 2.1. Modelo δI^{*18} – A diferença entre os Referenciais é explicada pela velocidade relativa;
- 2.2. Modelo δI – A diferença entre Referenciais é explicada pelo campo de visão de cada observador;
- 2.3. Modelo δII – Diferentes Referenciais são usados para mensurar posição e velocidade;
- 2.4. Modelo δIII – As diferenças entre Referenciais são explicadas pela sua posição relativa.

¹⁸ Escolhi o símbolo δ (delta) porque na Física ele é muito utilizado para designar uma variação. Neste caso, o modelo busca identificar qual a variação entre um Referencial e outro. Já o símbolo “*”, utilizei-o para designar os sujeitos que inicialmente têm um modelo (Modelo δI^{*}) e que no decorrer da entrevista o reelaboram sendo subsumido em outro Modelo δ ou sendo eliminado.

Por fim, o terceiro ponto de análise refere-se à compreensão da existência de dois sistemas de referência, um Inercial e outro não Inercial. Tendo previsto nas minhas hipóteses, encontrei um grupo de sujeitos que têm uma noção relacionada a Referenciais privilegiados. Assim, se fez necessária a análise por meio de dois modelos:

3.1. Modelo I - O Referencial Privilegiado – Dos inúmeros Referenciais, existe um privilegiado;

3.2. Modelo II - Os Sistemas – Há a distinção entre o sistema de referência Inercial e o sistema de referência não Inercial.

Assim, busco neste momento analisar cada nível e cada modelo separadamente. No final, há a possibilidade e o interesse de concluir este trabalho buscando interseccionar os níveis e os modelos encontrados.

5.1. O Referencial

Devido à importância da escolha de um Referencial para a relação dos conceitos que tornam a Mecânica compreensível, e sendo esta escolha subjetiva, é interessante saber como os sujeitos entrevistados elegem um Referencial. Ou seja, qual a noção de Referencial concebida pelos sujeitos e como esta noção se sustenta frente a contra-argumentos feitos pelo entrevistador. Analisando o gráfico 1 e retirando dele apenas as colunas correspondentes às categorias “Referencial → Observador”, “Referencial → Objetos ou Observadores em número limitado”, “Referencial → Objetos ou

Observadores em número ilimitado” e “Referencial $\overrightarrow{\text{Objetos e/ou Observadores}}$ ”, têm-se o seguinte gráfico:

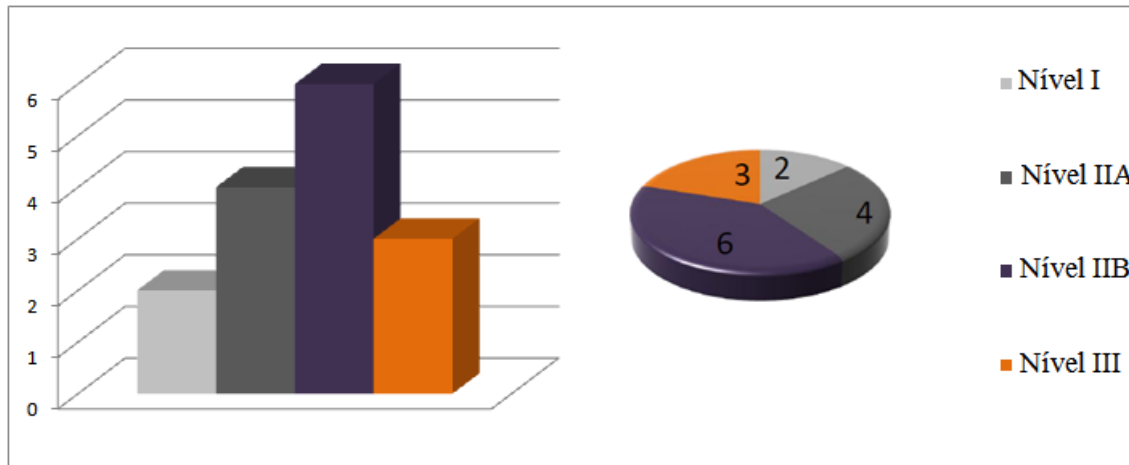


Gráfico 2

O gráfico representa o número de sujeitos que se concentram em cada nível de raciocínio empregado para dar significado ao Referencial. Compreendo que as categorias citadas anteriormente representam níveis de raciocínio frente ao que pensam ser um Referencial. Assim, concluí que:

- A categoria “Referencial \rightarrow Observador” constitui o primeiro nível (Nível I);
- As categorias “Referencial \rightarrow Objetos ou Observadores em número limitado” e “Referencial \rightarrow Objetos ou Observadores em número ilimitado” constituem o segundo nível (respectivamente, Nível IIA e Nível IIB);
- A categoria “Referencial $\overrightarrow{\text{Objetos e/ou Observadores}}$ ” constitui o terceiro nível (Nível III).

Centrar-me-ei mais, para analisar estes níveis, principalmente na etapa 1. Também se fez necessário analisar alguns aspectos da etapa 2, colaborando com a distinção em níveis cada vez mais complexos de raciocínio.

Ao começar as entrevistas, tinha como hipótese encontrar noções em que os sujeitos relacionavam o Referencial com pessoas e objetos. Para explicar casos particulares envolvendo fenômenos físicos esta noção é suficiente. Citarei alguns exemplos para melhor explicar tal situação. Uma pessoa repousa na varanda de sua casa observando o movimento dos carros na estrada que passa a sua frente. Por intuição, a pessoa consegue distinguir, entre dois carros, se um está mais rápido do que o outro, por exemplo. Isso é uma mensuração qualitativa, sem distinguir com exatidão a relação de velocidade entre os dois carros. Outro exemplo muito simples é o de uma pessoa prestes a atravessar a rua. Ela costuma saber, mesmo que intuitivamente, se conseguirá ou não atravessar a rua antes de ser atropelada por um carro que se encontra em movimento e vem em sua direção. Porém, poucas vezes (poderia dizer que esta quantidade expressa pelo termo “poucas vezes” para a maioria das pessoas tende a zero) ela se preocupa em determinar exatamente o tempo necessário para atravessar a rua, assim como o tempo necessário para que o carro avistado em movimento chegue até ela.

Implícito a estes exemplos estão os Referenciais. Quando se fala que um carro está se movendo, ele o está em relação a um Referencial. Neste caso, para uma solução simples e prática, pode-se afirmar que cada pessoa, sendo observadora da situação, é um Referencial (mesmo que para a Física isto não seja correto). Ou seja, pode-se afirmar que um carro está em movimento em relação a uma pessoa. Isto é válido para fins práticos de resolução de problemas particulares. Citarei um problema muito usado em livros de Física: *Um carro que se move ao longo de uma estrada retilínea com velocidade constante, percorre 30 metros em 3 segundos. Qual a velocidade do carro?* Como a velocidade é constante, ou seja, a proporção entre deslocamento e tempo é mantida inalterada, pode-se simplesmente analisar a questão da seguinte maneira: Se um carro percorre trinta metros em três segundos, então em um segundo ele percorreria dez metros. Ou seja, a velocidade do carro vale 10 m/s (metros por segundo). Isto, na escola, é difundido como “regra de três”, ou seja, sendo dadas duas variáveis e três valores, se a proporção for mantida, consegue-se determinar o quarto valor. Na Física, a

velocidade é uma relação entre deslocamento¹⁹ e tempo transcorrido. Para esclarecer isto, citarei um exemplo: uma pessoa que mora em Porto Alegre sai de férias e quer ir a Florianópolis de carro. Ao sair de Porto Alegre ela aciona um cronômetro de pulso e quando chega a Florianópolis observa que o cronômetro marca 6h: 35min. Após alguns dias de férias ela retorna a Porto Alegre, marcando também o tempo transcorrido durante a viagem. Na volta, ela observa que seu cronômetro marcou 6h: 05min. Ela então infere que na volta a Porto Alegre ela conduziu o carro a uma velocidade maior que na ida a Florianópolis, já que sua viagem de volta foi feita num intervalo de tempo menor. Ou seja, ela estabeleceu uma relação de implicação entre a velocidade que conduziu o carro e o tempo transcorrido. Esta implicação lhe faz perceber que há uma proporção inversa, já que quanto menor for o tempo transcorrido, maior será a velocidade que conduziu o carro. Pode-se resumir isto na seguinte forma:

Velocidade \rightarrow Tempo transcorrido

$$\text{Velocidade} \propto^{20} \frac{1}{\text{Tempo transcorrido}}$$

Quanto maior a velocidade com que uma pessoa conduz o veículo, maior é o seu deslocamento em relação ao ponto de onde partiu num mesmo intervalo de tempo. Por exemplo, se estiver dirigindo um carro a uma velocidade fixa de 40 km/h (quilômetros por hora), após um intervalo de trinta minutos, o carro terá percorrido vinte quilômetros. Porém, se imprimir ao carro uma velocidade de 60 km/h, sabe-se que num mesmo intervalo de trinta minutos ter-se-ão percorridos trinta quilômetros. Ou seja, tem-se aqui também uma relação de implicação, mas agora entre velocidade e deslocamento, que pode ser interpretada e resumida da seguinte maneira:

Velocidade \rightarrow Deslocamento

¹⁹ Representa uma variação de posição.

²⁰ Símbolo de proporcional.

Velocidade α Deslocamento

Buscando reunir as implicações feitas, chega-se à equação:

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Equação 12

ou

$$\text{Velocidade} = \frac{\text{deslocamento}}{\text{tempo}}$$

Mas, afinal, o que isso tudo tem a ver com o Referencial a que me propus investigar? Quando se afirma, no exemplo citado anteriormente, que o carro se move a 40 km/h, esta velocidade é mensurada a partir de um Referencial, o qual não foi explicitado no problema. Normalmente se vincula o Referencial a algo que, intuitivamente, está sempre parado. Foi comum ouvir nas entrevistas que a Terra, o solo, a estrada e etc. estão sempre parados. Porém, diante de um Referencial, a Terra pode estar parada, mas em relação a outro não. Nos exemplos acima se poderia concluir que a pessoa, o carro e o solo são Referenciais. Porém, não o são. Mas, então, o que são Referenciais? Antes de tentar chegar a uma resposta mais clara para isso, mostrarei porque uma pessoa não pode ser considerada um Referencial.

Para se calcular a velocidade de algum objeto em movimento, um observador precisa estar munido de régua(s) e relógio(s), pois ele precisa saber de onde e de que instante o objeto partiu, ou seja, a posição inicial do objeto e o instante inicial. Além disso, precisa saber também até onde o objeto foi e em que instante, ou seja, a posição final do objeto e o instante final. Não necessariamente a posição inicial deve estar relacionada ao início do movimento do objeto e nem a posição final relacionada com o término do movimento. Diante de um percurso, é necessário escolher dois pontos por onde passará o objeto em movimento. Escolhidos os dois pontos, assim que o objeto passa pelo primeiro aciona-se o cronômetro e quando passa pelo segundo interrompe-se

a sua contagem. Sabendo o deslocamento entre os dois pontos e o tempo transcorrido para o objeto percorrer tal deslocamento, consegue-se encontrar a sua velocidade. Porém, o deslocamento entre os dois pontos nada mais é do que uma variação entre a posição final e inicial do objeto.

Para saber a variação entre a posição final e a inicial em um percurso efetuado por um objeto, deve-se responder a seguinte pergunta: como se calcula a posição de um objeto? É justamente a resposta a essa pergunta que quero analisar nos sujeitos de pesquisa nesta primeira etapa.

Ao se imaginar uma pessoa trancada dentro de uma sala que contém apenas uma porta, uma pergunta pode ser evidenciada: qual a posição da porta? Para responder a esta pergunta é necessário, anteriormente, responder a estas: posição em relação a quê? Ou, a quem? Poderia medir em relação à pessoa? Pois bem, se assim for, a medida pode ser feita por meio de uma régua, da porta até ela. Porém, se a medida for feita da porta até o braço da pessoa, será um valor. Se for feita até a cabeça, será outro valor. Se for feita até o umbigo, será outro valor. Então, o quê se pode considerar como sendo realmente a pessoa? E ainda mais, que ponto da porta escolher? A porta tem infinitos pontos que poderão dar infinitas medidas de posição. Assim como o corpo da pessoa possui infinitos pontos, logo poderia encontrar infinitas posições para um mesmo ponto da porta. Tem-se aqui o primeiro empecilho ao adotar um corpo físico como Referencial. Tem-se, sempre, que adotar um ponto, seja ele contido em um corpo físico ou não. Mas, será que considerar apenas um ponto como Referencial é suficiente?

Um corpo físico não pode ser considerado como um Referencial. Porém, poderia ser entendido então um Referencial como sendo um ponto escolhido e contido no corpo? Tomando três pessoas, A, B e C dentro de uma sala, formando um triângulo equilátero. Supondo que a pessoa A queira saber a distância das duas pessoas em relação a ela, escolhe, como Referencial, um ponto contido nela, outro contido na pessoa B e outro contido na pessoa C. Para simplificar o exemplo, supõe-se que o ponto escolhido como Referencial seja o umbigo de cada pessoa. As três pessoas contidas nesta sala estão dispostas como um triângulo equilátero, ou seja, as três pessoas estão à mesma distância umas das outras, ou melhor, a distância entre dois umbigos quaisquer é a mesma. Se a distância é a mesma, pode-se afirmar que a posição é a mesma? Ao se considerar um Referencial como sendo um ponto, a resposta de tal pergunta é

afirmativa. Porém, se dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço simultaneamente, então também não podem ter a mesma posição simultaneamente. Assim sendo, obrigatoriamente as duas pessoas, A e B, devem possuir posições diferentes.

A pessoa A dirá que a pessoa B está a “x” metros dela e a sua esquerda, por exemplo, enquanto que a pessoa C também estará a “x” metros, porém a sua direita. Esta necessidade de se inferir “direita” e “esquerda” traz à discussão o papel da direção e do sentido para mensurar a posição de algo. Para melhor ilustrar, coloco, no exemplo citado, algumas coordenadas geográficas:

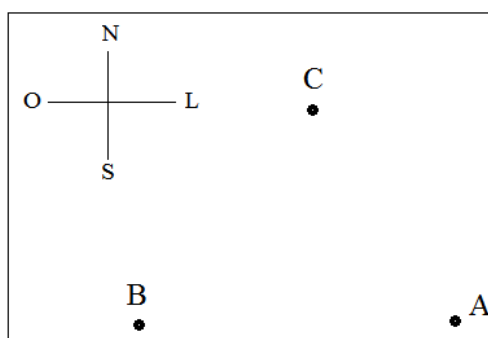


Figura 28

Ao tentar definir a posição das outras duas pessoas (B e C), a pessoa A poderia se valer das direções: Norte-Sul (ou Sul-Norte) e Leste-Oeste (ou Oeste-Leste); e dos sentidos: Norte-Sul, Sul-Norte, Leste-Oeste e Oeste-Leste. Assim, poderia afirmar que: a posição da pessoa B é, em relação a ela, “x” metros de distância a oeste; e a posição da pessoa C é, em relação a ela, “x” metros de distância à direção noroeste. Ou seja, um ponto apenas não caracteriza um Referencial, já que é necessário, também, a partir dele, mensurar a posição de objetos, por exemplo, e esta para ser realizada necessita de eixos que darão esta referência. Os eixos utilizados para resolver tal problema foram os mesmos utilizados em coordenadas geográficas. Para um caso geral, em três dimensões, adotam-se as coordenadas cartesianas, caracterizadas por três eixos perpendiculares entre si que se cruzam num ponto, que é a origem do Referencial. A seguir analiso detalhadamente cada nível de raciocínio, buscando explicitar o pensamento dos sujeitos sobre o que é um Referencial.

Nível I – O Referencial é um observador

Neste nível foram encontrados sujeitos cujas falas são marcadas por um forte egocentrismo no que se diz respeito ao fato de que apenas observadores caracterizam ser Referenciais. Esses sujeitos não constituem uma totalidade ao ponto de não tomarem consciência que um Referencial é desvinculado do sujeito cognoscente. Buscam explicar os fenômenos físicos a partir de si próprios, não conseguindo coordenar outros pontos de vista que, para este nível, caracterizariam outro Referencial.

Piaget se utiliza do termo *egocêntrico* para:

[...] designar a incapacidade inicial para se descentrar, para modificar a perspectiva dada (falta de descentração). Teria sido melhor falar simplesmente de “centrismo”, mas, porque a centração inicial da perspectiva é sempre relativa a nossas próprias posições e ações, eu digo egocentrismo [...] (PIAGET, *apud* MONTANGERO e MAURICE-NAVILLE, 1998, p. 144).

Assim sendo, analisarei, agora, alguns extratos de uma entrevista na tentativa de explicitar as ideias deste nível.

Etapa 1 – Adoção implícita de um Referencial para calcular a posição.

(Sujeito 003) – Como tu identificarias a posição do objeto? *Depende do ponto de vista. Pode ser da direita para esquerda, de frente para trás, depende do Referencial. Saberias calcular uma maneira?* (mede a distância entre seu corpo e a bolinha). **(Executa-se o movimento de translação do objeto)** *A posição mudou* (mede e observa mesma distância) *São posições iguais em módulo* (mesma distância), *mas vetores diferentes.* **Se eu chamasse aqui na sala outra pessoa e pedisse para ela fazer uma medida, tu achas que a medida dela seria a mesma que a tua?** *Não, porque mudaria o Referencial.* **Tu achas que há quantas formas de medir?** *Infinitas* (pensa)... *Porque assim, se tu fores considerar a questão dos vetores, tu tens infinitas medidas, logo infinitos Referenciais.*

O sujeito inicia a entrevista afirmando que a identificação da posição do objeto dependeria do ponto de vista. Ele próprio se coloca como um observador, logo um Referencial, quando afirma que poderia ser da direita para a esquerda. Faz o uso destas coordenadas, porém analisadas a partir dele próprio. Quando indagado sobre como calcular a posição do objeto, não é estranho que ele tenha calculado a distância da bolinha em relação a ele próprio. Isso corrobora a hipótese anteriormente explicitada, que, para o sujeito, ele próprio é um Referencial. Ao se efetuar o movimento de translação do objeto em torno do ponto escolhido pelo sujeito para efetuar a medida anterior (e isso é feito justamente para não mudar a distância do objeto em relação ao Referencial escolhido pelo sujeito) ele afirma corretamente que a distância não mudou, mas a posição sim, já que esta é um vetor.

Isso leva a crer que a diferença entre a simples distância entre objetos ou entre observador e objetos e a posição de cada objeto em relação ao observador é oriunda de um processo de tomada de consciência. Esta análise se faz necessária, já que sendo a posição um vetor, e isso fica bem explícito na fala do sujeito, velocidade e aceleração também são vetores, conceitos estes necessários, porém não suficientes, para a compreensão da Mecânica Clássica. Esta, por sua vez, só pode ser bem compreendida se o sujeito construir uma noção de Referencial Inercial que suporte todas, ou pelo menos a maioria, as peculiaridades e especificidades que constitui o estudo dos movimentos. Assim, pode-se afirmar que, neste nível, a posição (P) implica um vetor (\vec{v}):

$$P \rightarrow \vec{v}$$

O sujeito afirma que, se chamasse outra pessoa na sala, haveria uma mudança no Referencial. Assim, a relação de que um Referencial (R) implica que um Observador (O_{bs}) se faça presente:

$$R \rightarrow O_{bs}$$

Nota-se que o sujeito afirma explicitamente que mudando a pessoa mudaria o Referencial. Quanto à última pergunta, há dúvida sobre a relação vetores – Referenciais.

Isso parece entrar em conflito ao que vinha sendo analisado no decorrer da entrevista. No entanto o sujeito mostra, posteriormente, possuir uma noção que coloca o observador como sendo um Referencial. Para comprovar isso, analisarei também a próxima etapa.

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa

(Sujeito 003) – Há quantos Referenciais? *Eu posso ter o bonequinho parado, este que está andando pra lá, este pra cá... Tu poderias dizer um número? Número eu não sei. Ah... tem um monte, porque pode estar aí onde tu estás, pode estar aqui na ponta (da mesa), ali, ali, ali... [...]* **Haverá o mesmo número de Referenciais ou haverá um número diferente se eu retirar um bonequinho?** *(Retiro um bonequinho) Acho que diminuiu. Mas antes tu falaste que existiam infinitos Referenciais (etapa 1), como agora tu afirmas haver oito, e se tirar um bonequinho, sete? Pois é. Quando ele está aqui (pega o bonequinho A), ele observa uma coisa. Se eu colocar ele ali (outra posição), ele observa outra coisa. Se eu mudar a posição, o Referencial também vai mudar. [...] É que se tu pensares na historinha do ônibus. Uma pessoa que está no solo é um Referencial, outra que estiver parada no ponto de ônibus, é outro, outra que está no ônibus, é outro [...].*

Nota-se que a todo o momento de sua fala o sujeito se dirige ao “bonequinho” como um Referencial, que, para o experimento, faz o papel de um observador. Quando indagado sobre o número de Referenciais, sua resposta indica ser fruto de um processo de tomada de consciência. Isso porque, inicialmente, se prende ao observável, que são os “bonequinhos” com seus movimentos restritos. Apenas uma atividade mental consciente pode levar o sujeito a pensar que um mesmo “bonequinho” pode estar em várias posições (fruto de uma relação desta etapa com a etapa anteriormente realizada).

O que parece ficar cada vez mais claro é: a ideia de que existem infinitos Referenciais e a ideia de um Referencial ser um observador. Logo, seriam necessários também infinitos observadores? Ao analisar a resposta do sujeito quando indagado sobre qual o número de Referenciais se fosse retirado um dos “bonequinhos”, o sujeito acaba por responder a pergunta levantada. Para o sujeito, pegando-se um observador, que normalmente está vinculado a ele próprio, ele pode colocá-lo em infinitos pontos.

Por poder estar em infinitos pontos, observa de infinitas maneiras diferentes, logo, haveria infinitos Referenciais.

Com a análise deste sujeito conseguiu-se evidenciar com bastante clareza a noção de que um Referencial é considerado como um observador. Poderia ele fazer a relação de que para existirem infinitos Referenciais seria necessária a existência de infinitos observadores. Mas não é esse o caso. Um Referencial é um observador, e por este observador poder estar em infinitas posições, logo, tem-se infinitos Referencias. Isso encaminha também a analisar como este sujeito diferencia dois ou mais Referenciais: pela posição do observador e pelo Campo visual, ou seja, pelo o quê ele observa. Mas isso será comentado adiante.

Isso leva à conclusão de que há uma indiferenciação entre sujeito cognoscente, observador e Referencial. Se não há uma diferenciação destes, é evidente que não há uma totalidade organizada que possibilite a compreensão dos fenômenos da Mecânica Clássica. Além de um Referencial implicar um observador ($R \rightarrow O_{bs}$), este nível leva a concluir que o observador é o próprio sujeito (S), logo:

$$[(R \rightarrow O_{bs}) \cdot (O_{bs} \rightarrow S)] \supset (R \rightarrow S)^{21}$$

Ou seja, dada a implicação significativa, do ponto de vista do sujeito, entre os conceitos de observador e Referencial e, agregado a isso, um egocentrismo que não permite a diferenciação do observador de si próprio, deduz-se que o próprio sujeito é tomado como um Referencial. A implicação ($R \rightarrow O_{bs}$) é uma construção que visa a dar significado ao problema posto pelo pesquisador, ao mesmo tempo em que soluciona os conflitos evidenciados pelo sujeito. O sujeito, ao longo da entrevista, age sobre o objeto que busca compreender, elabora hipóteses, apercebe-se de suas ideias, de alguns conflitos e busca superá-los. Porém, falta ainda uma tomada de consciência que possibilite a diferenciação do sujeito cognoscente, do observador e do Referencial, que se dará paralelamente à construção dos conceitos de observador e Referencial.

²¹ “.” simboliza “e”;

“ \supset ” simboliza uma condição entre as implicações em jogo. Lê-se “Se...então”.

Nível IIA: Referencial é, em número limitado, um objeto ou um observador

Este nível, quando comparado ao anterior, mostra um avanço no sentido de uma descentração, na busca da diferenciação entre observador e Referencial. É interessante salientar que os sujeitos ainda tendem a adotar um Referencial como sendo um observador, mas em certos casos conseguem se descentrar e considerar também o Referencial como sendo um objeto. Isso mostra um avanço tanto na diferenciação entre observador e Referencial, quanto na tentativa de integrar observador, objeto e Referencial dentro de uma totalidade. Totalidade esta que leva a uma nova noção de Referencial que se verá em detalhes no extrato selecionado abaixo.

Etapa 1 – Adoção implícita de um Referencial para calcular a posição.

(Sujeito 002) - Como tu identificarias a posição do objeto? *Bom, eu escolheria um Referencial. Por exemplo, pegando como Referencial a porta, eu mediria a distância até a mesa, e depois mediria daqui (lado A da mesa) até aqui (bolinha) e depois daqui (lado B da mesa) até aqui (bolinha). **Haveria outra ou não?** Ah, teria certamente. Medindo daqui (lado A da mesa) até aqui (bolinha) e depois daqui (lado C da mesa) até aqui (bolinha) [...]. Mas em relação à mesa teria só um (Referencial). **Tu falaste que haveria medidas relacionadas às laterais da mesa. As medidas seriam iguais ou diferentes?** Sim, diferentes. **Então não haveria aqui (mesa) Referenciais diferentes?** Pois é, o Referencial seria o objeto, no caso a mesa, mas posição que tu mede daí seria diferente [...].*

Frente à primeira pergunta, o sujeito afirma que adotaria o Referencial como sendo a porta. Assim, toma-se como hipótese, que será comprovada durante a entrevista, que este sujeito possui uma noção de Referencial relacionada a objetos. Quando indagado sobre outra forma de medir, há um princípio de conflito, pois o sujeito parece adotar o Referencial como sendo a mesa, mas para mensurar a posição do objeto o faz analisando as laterais da mesa. Então: o Referencial é a mesa ou um Referencial depende das laterais da mesa? Independentemente da resposta do sujeito, ambas, as

possíveis, evocam o Referencial como sendo a mesa, direta ou indiretamente. Um fator relevante que se deve levar em consideração neste sujeito, diferentemente do sujeito 003 analisado no nível anterior, é que este busca não somente evidenciar que posição é um vetor, mas sim se utiliza disso para calcular a posição do objeto que está sobre a mesa. Isso se torna claro quando se apercebe de que, para o caso em que propõe responder, é necessária a tomada dos limites físicos da mesa como direções para só assim identificar o vetor posição do objeto que repousa sobre a mesa.

O interessante é que o sujeito, ao iniciar a entrevista, quando indagado sobre como identificar a posição do objeto, responde que necessitaria de um Referencial. No caso, este Referencial mencionado é a mesa e é a partir das dimensões desta que se mensura a posição de um objeto. No caso presente, o Referencial é um objeto (mesa), e o sujeito utiliza-se das dimensões físicas deste objeto para realizar mensurações. Então, o Referencial (R) implica um objeto (O_{bj}) e, por sua vez, o objeto implica realizar medidas (M). Pode-se resumir isto da seguinte maneira:

$$R \rightarrow O_{bj}$$

$$O_{bj} \rightarrow M$$

Analisarei também um extrato da entrevista do sujeito na etapa 2.

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa

(Sujeito 002) – Há quantos Referenciais? [...] *Eu teria seis (os bonecos), mais eu aqui, mais um ali, ali, ali (indica alguns objetos da sala), mais os carrinhos. [...] E se eu retirar um boneco, eu tenho um número de Referenciais menor ou a mesma quantidade que antes? Acredito que menor. Tirando esses que eu disse, eu teria cinco. O carrinho seria um Referencial? Acredito que sim.*

Frente à primeira pergunta, o sujeito começa afirmando que um Referencial implica um observador, não mais explicitando a sua ideia anterior, em que Referencial implicaria um objeto. Porém, termina sua fala considerando também os carrinhos e se coloca como um dos possíveis Referenciais. No decorrer da entrevista o sujeito acaba por explicitar a junção de duas ideias. Uma em que Referenciais são objetos e outra em que Referenciais são observadores. Logo, tem-se uma noção de Referencial relacionada com objetos e observadores:

$$R \rightarrow (O_{bj} \vee O_{bs})^{22}$$

Há, portanto, neste nível, sujeitos mais descentrados em relação ao nível anterior, onde o Referencial era apenas o observador, indiferenciando, pois, sujeito cognoscente, observador e Referencial. Neste nível encontram-se sujeitos que começam a diferenciar observadores e Referenciais, já que os sujeitos inferem que Referenciais podem ser também objetos. Diferentemente do Nível I, aqui se encontram sujeitos capazes de constituir uma totalidade que visa a coordenar Referenciais com objetos e observadores.

Nível IIB: Referencial é, em número ilimitado, um objeto ou um observador

As reações dos sujeitos deste nível frente ao tema em muito se assemelham às reações dos sujeitos do nível anterior (IIA). Em ambas, os sujeitos relacionam Referenciais com objetos e observadores. A diferença, e por isso caracteriza analisarmos separadamente, é que estes sujeitos extrapolam os limites dos observáveis

²² O símbolo “V” designa o “ou” lógico, onde a implicação se constitui tendo como verdade somente o O_{bj} , somente o O_{bs} ou os dois simultaneamente.

em termos de objetos físicos e observadores. Enquanto no nível anterior havia sujeitos que afirmavam existir dois, quatro, dez Referenciais, estes, por sua vez, afirmam existir infinitos Referenciais, por considerarem a existência de infinitos objetos e observadores. Não cabe aqui analisar a *noção de infinito* (BERTOLUCCI, 2009) destes sujeitos. Para o que propomos não importa se a palavra *infinito* signifique o conceito matemático de *infinito* ou simplesmente signifique um número muito grande.

Etapa 1 – Adoção implícita de um Referencial para calcular a posição.

(Sujeito 015) Como tu identificarias a posição do objeto? *A posição deste objeto... relativa a alguma coisa? Bom, se é a posição dele relativa a mim, eu iria medir (pega a trena e faz a medida)... porque eu sou o Referencial. Mas se eu mudar o Referencial, aí eu vou medir do Referencial até ele (objeto). Caso ele esteja em cima do eixo, porque aqui tem dois eixos (x e y) [...] eu vou ter uma medida. Zero aqui e só existe y. Haveria outra maneira? Utilizando o mesmo Referencial? Bom, se mudar o Referencial vai mudar a medida. E tu poderias ter quantas medidas diferentes? Infinitas. Porque tem infinitos Referenciais que eu posso utilizar. Como sabes que são infinitos? Pois é... eu acredito que sejam infinitos, eu não consigo ver o universo acabando...aqui tem uma barreira (que seria o fim do universo). Para adotares um Referencial, precisas do quê? É... eu parto do princípio que um Referencial ocupa um lugar no espaço...então ele tem uma localização no espaço.*

Como, a meu ver, seria redundante e repetitivo analisar na íntegra esta entrevista, já que ela traz consigo elementos do nível anterior, detenho-me no que a diferencia. Nota-se que o sujeito não se prende somente aos objetos observáveis. A compreensão é evidente de que um Referencial pode ser qualquer objeto físico ou pessoa (que não deixa de ser também um objeto físico, mas que se diferencia dos demais). O que se pode perceber neste nível é uma evolução extensiva quando comparada ao nível anterior. Enquanto os sujeitos do Nível IIA restringiam suas possibilidades aos observáveis em número limitado, estes têm uma estrutura capaz de cogitar possíveis Referenciais, fora do plano dos observáveis, o que possibilita trabalhar com Referenciais hipotéticos.

Nível III: Referencial desvinculado de objetos e observadores

Neste nível encontram-se sujeitos que, dentro de uma totalidade, diferenciam sujeito cognoscente, observador e Referencial. Assim, um Referencial está desvinculado de objetos físicos e observadores, possibilitando que o sujeito cognoscente aja sobre um número maior de situações relativas à Mecânica Clássica.

Etapa 1 – Adoção implícita de um Referencial para calcular a posição.

(Sujeito 008) - Como tu identificarias a posição do objeto? *A posição dele em relação à?...mesa?* **Tu quem sabe.** *Em relação ao canto (lateral A da mesa).* **Poderia ter outra medida ou não?** *(mede com a lateral B da mesa).* **Se tu entregasses esta medida a uma pessoa, tu achas que ela colocaria aqui?** *Não. Porque ela poderia colocar a qualquer posição que estivesse a 17,5 polegadas, mas de zero até o final da mesa nesta direção (perpendicular à lateral A da mesa).* **E para ter certeza?** *Daria as duas coordenadas, daqui (lateral A da mesa) até aqui (bolinha) e daqui (lateral B da mesa) até aqui (bolinha).* **Teria outra forma de medir ou não?** *Se eu colocar a origem (do Referencial) embaixo da bolinha.* **Tu achas que haveria quantas formas de medir?** *Provavelmente tu tens infinitas formas de medição, porque adotando pontos de referência distintos, também seriam outras medições. Porque tu podes adotar qualquer ponto como referência, posso adotar o canto, a 1 cm da bolinha... mesmo que eu adotar a 1 cm da bolinha, já vai ter infinitas, pelo raio com infinitas posições.*

Nota-se que o sujeito parece ter uma noção de Referencial elaborada o suficiente para contestar a própria pergunta do entrevistador. Quando pergunto sobre a posição e ele retribui a pergunta “em relação à?”, isso deixa claro que sua noção não está vinculada a um Referencial absoluto, normalmente adotado, por muitos sujeitos desta pesquisa, como sendo a mesa, por estar parada em relação à Terra.

Ainda que o espaço seja tridimensional, duas dimensões são ressaltadas no problema, formando um plano, que comumente denomina-se como horizontal. Por isso a necessidade de, para medir a posição do objeto, adotar um Referencial bidimensional. Porém isso não se mostra de imediato. Ao perguntar sobre como medir a posição, e ele escolher em relação à mesa, o entrevistado mensura a posição do objeto utilizando

apenas uma coordenada espacial, das três que poderia. Quando indagado sobre outra forma, rapidamente analisa outra coordenada. Isso pode ser entendido como fruto de operações que possibilitaram ao sujeito tomar consciência de que seria necessário adotar mais do que uma coordenada para solucionar a questão posta pelo pesquisador. Quando indagado sobre a possibilidade de ele orientar outra pessoa a colocar o objeto na mesma posição, se faz necessário coordenar as duas dimensões, evidenciando um Referencial bidimensional, suficiente para a resolução dos problemas vigentes. O Referencial é constituído não apenas por um ponto ou como um objeto, mas como um plano, possibilitando medir o vetor posição de um objeto. Assim, pode-se dizer que o Referencial não implica um ponto material (P_m), nem um objeto ou um observador, mas sim na escolha de uma origem (o) em qualquer ponto do espaço, que designa a origem de um Referencial, onde, por esta origem, se interseccionam, perpendicularmente, três retas infinitas que possibilitarão mensurar posição, velocidade e aceleração:

$$\begin{array}{c} \overline{R \rightarrow P_m} \\ \overline{R \rightarrow O_{bj} \vee O_{bs}} \\ (R \rightarrow o) \end{array}$$

Posteriormente o sujeito afirma existirem infinitos Referenciais. A questão é saber se:

- Infinitos Referenciais implicam a existência de infinitos objetos;
- Infinitos Referenciais implicam a existência de um objeto que pode estar em infinitas posições.
- Infinitos Referenciais implicam a locação da origem do Referencial em qualquer ponto do espaço.

Mesmo que num primeiro momento o sujeito afirme que irá mensurar a posição do objeto em relação à mesa, ele não a toma como um Referencial. Além disso, afirma que, para medir a distância de 1 cm da bolinha em relação a um Referencial, existiriam

infinitos Referenciais que efetuariam esta medida, pois, como bem afirma, em uma circunferência de raio 1 cm existem infinitos pontos onde se pode alocar a origem de um Referencial. Isso mostra, diferentemente do sujeito 015, que um Referencial não ocupa lugar no espaço, logo possibilitando a existência de infinitos Referenciais, independentemente de o universo ser finito ou infinito.

Dentro dos três níveis analisados, busquei identificar as noções de Referencial dos entrevistados frente ao material utilizado para a coleta de dados. Partiu-se do primeiro nível onde encontramos sujeitos centrados sobre si próprios, onde sujeito cognoscente, observador e Referencial se encontravam indiferenciados por incapacidade do sujeito se descentrar frente à problemática. Posteriormente, no nível II, foram encontrados sujeitos que adotavam um Referencial como sendo objetos ou observadores. E, por fim, no nível III encontrei sujeitos que criam um Referencial independentemente da existência de objetos e observadores. Encontra-se aqui uma diferenciação completa entre sujeito cognoscente, observador e Referencial, o que caracteriza uma noção que possibilitará ao sujeito enfrentar um número indefinido de problemas referentes à Mecânica Clássica.

5.2. A diferença entre Referenciais

Buscando analisar mais profundamente as noções dos entrevistados sobre o que eles compreendem por Referencial, julguei interessante analisar como os sujeitos diferenciam dois ou mais Referenciais. Esta diferença possibilita analisar melhor suas noções e principalmente as tomadas de consciência dos meios empregados para alcançar os objetivos propostos. Frente à coleta de dados realizada, os extratos são retirados principalmente da etapa 2. Frente às respostas dos sujeitos, primeiramente, distingui quatro formas de diferenciar dois ou mais Referenciais, as quais constituem, a meu ver, modelos de significação, que estruturam o pensamento do sujeito e visam a dar significado à situação:

- Modelo δI^* – A diferença entre os Referenciais depende da velocidade relativa;
- Modelo δI – A diferença entre Referenciais depende do campo de visão de cada observador;
- Modelo δII – Diferentes Referenciais são usados para mensurar posição e velocidade;
- Modelo δIII – A diferença entre Referenciais depende da sua posição relativa.

Com a análise dos dados, o número de sujeitos que utilizam estes modelos para diferenciar dois ou mais Referenciais pode ser representada no gráfico abaixo:

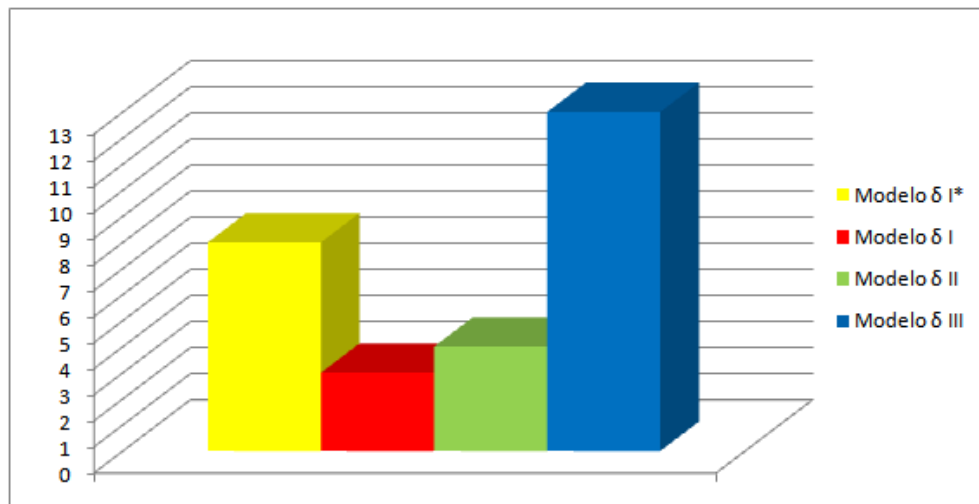


Gráfico 3

Muitos dos entrevistados começam por expor uma noção baseada na velocidade relativa entre Referenciais, e seria esta característica que os diferenciaria. Quando, por exemplo, duas pessoas possuem diferentes velocidades frente a um Referencial, diz-se que há velocidade relativa entre elas.

Supondo que uma pessoa se encontre dentro de um carro realizando uma viagem à velocidade de 70 km/h (em relação a um Referencial fixo em algum ponto da estrada). Assim sendo, o carro se move em relação à pessoa? Ele se afasta da pessoa? Aproxima-se? Ou fica parado? Se fica parado, o fica em relação a quem? À pessoa? À estrada? Estas são algumas perguntas que são respondidas no decorrer das entrevistas.

A princípio, como a pessoa se encontra dentro do carro, pode-se afirmar que tanto o carro quanto a pessoa se movem com a mesma velocidade em relação ao Referencial fixo na estrada, ou seja, ambos a 70 Km/h, não havendo, assim, velocidade relativa entre a pessoa e o carro. Porém, há velocidade relativa entre a pessoa e a estrada, e isso é comprovado pelo fato de ela (num Referencial fixo na estrada) estar se movendo a uma velocidade de 70 Km/h. Isto acontece no Referencial fixo na estrada, já que, ao se escolher um Referencial fixo na pessoa, ela estaria parada enquanto a estrada se moveria com uma velocidade de -70 km/h, já que a pessoa veria a estrada se movendo para trás.

Neste pequeno exemplo, pode-se escolher fixar alguns Referenciais para, a partir deles, mensurar posição, velocidade, aceleração e etc. Abordo aqui a relação entre velocidade, e para isso escolherei fixar um Referencial na estrada (E), outro no carro (C) e, por fim, um na pessoa (P). Como já explicitado anteriormente, pode-se dizer, agora não mais em relação a corpos físicos, mas sim em termos de Referenciais E, C e P, os valores de velocidade relativa entre eles. Assim:

- A velocidade de C em relação a E vale 70 km/h;
- A velocidade de E em relação a C vale -70 km/h;
- A velocidade de E em relação a P vale -70 km/h;
- A velocidade de P em relação a E vale 70 km/h;
- A velocidade de C em relação a P é nula;
- A velocidade de P em relação a C é nula;

Ou ainda, pode-se resumir com as seguintes relações, respectivamente:

$$(C \xrightarrow{70\text{km/h}} E)$$

$$(C \xleftarrow{-70\text{km/h}} E)$$

$$(P \xrightarrow{70\text{km/h}} E)$$

$$(P \xleftarrow{-70\text{km/h}} E)$$

$$\left. \begin{array}{l} (C \xrightarrow{nulo} P) \\ (C \xleftarrow{nulo} P) \end{array} \right\} (C \xleftrightarrow{nulo} P)$$

No experimento que serviu para coleta de dados da etapa 2, tentei recriar algo parecido com o exemplo citado acima, porém sendo necessária a utilização de um número maior de “pessoas”, “carros” e “estradas”. Meu interesse aqui é saber como os sujeitos diferenciam os Referenciais. Para isso, o sujeito deve inferir uma lógica que distingue um Referencial de outro. No caso de esta distinção se dar pela velocidade relativa entre os Referenciais, então, para o material construído, tem-se, em expressões relacionais²³, uma configuração da velocidade relativa entre eles, sendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} x \text{ é a velocidade } v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \\ y \text{ é a velocidade } 2v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \\ z \text{ é a velocidade } 3v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \\ \bar{x} \text{ é a velocidade } -v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \\ \bar{y} \text{ é a velocidade } -2v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \\ \bar{z} \text{ é a velocidade } -3v \text{ de um Referencial em relação a outro.} \end{array} \right.$$

²³ Estas expressões foram descritas em relação aos bonecos. O mesmo pode ser feito para os carrinhos.

$$(A \xleftarrow{0} B) = (C \xleftarrow{0} D)$$

$$(A \xrightarrow{x} C) = (C \xrightarrow{x} E)$$

$$(A \xrightarrow{x} C) = (A \xleftarrow{\bar{x}} C)$$

$$(A \xleftarrow{0} B) + (B \xrightarrow{x} C) = (A \xrightarrow{x} C)$$

$$(B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) = (B \xrightarrow{x} D)$$

$$(C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) = (C \xrightarrow{x} E)$$

$$(D \xrightarrow{x} E) + (E \xrightarrow{\bar{z}} F) = (D \xrightarrow{\bar{y}} F)$$

$$(A \xleftarrow{0} B) + (B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) = (A \xrightarrow{x} D)$$

$$(B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) = (B \xrightarrow{y} E)$$

$$(C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) + (E \xrightarrow{\bar{z}} F) = (C \xrightarrow{\bar{y}} F)$$

$$(A \xleftarrow{0} B) + (B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) = (A \xrightarrow{y} E)$$

$$(B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) + (E \xrightarrow{\bar{z}} F) = (B \xrightarrow{\bar{x}} F)$$

$$(A \xleftarrow{0} B) + (B \xrightarrow{x} C) + (C \xleftarrow{0} D) + (D \xrightarrow{x} E) + (E \xrightarrow{\bar{z}} F) = (A \xrightarrow{\bar{x}} F)$$

Sendo...

$$x = x$$

$$x + x = y$$

$$x + \bar{z} = \bar{y}$$

$$x + x + \bar{z} = \bar{x}$$

$$x + \bar{y} = \bar{x}$$

$$x + x + \bar{y} = 0$$

$$x + y + \bar{z} = 0$$

$$x + y + \bar{y} = x$$

Estas relações são válidas para a análise de seis possíveis Referencias, os quais estão relacionados com a metodologia de investigação. Isto distingue, para a maioria dos sujeitos entrevistados, de forma até então suficiente, dois ou mais Referenciais. Porém, quando o entrevistador apresenta questões que possibilitam que o sujeito entre

em conflito com sua noção, nota-se que os sujeitos reelaboram tal noção com o intuito de dar conta e superar os conflitos. Segundo Piaget (1995), um fato novo pode contradizer um modelo explicativo e até levar a sua completa eliminação. O resultado de tal reelaboração permitiu a análise de três modelos de significação, já que o modelo que representa a diferença entre Referenciais pela velocidade relativa (Modelo δI^*) se compõe como um modelo superficial, ou seja, pouco estável. Este modelo, no decorrer da entrevista é subsumido principalmente ao modelo δII . Consegui chegar nestas conclusões quando interseccionei os dados coletados, resultando na representação abaixo:

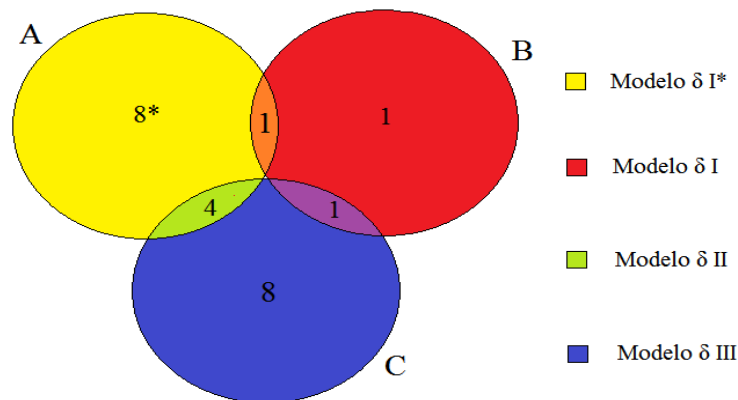


Gráfico 4

Diante disso, podem-se descrever os modelos encontrados da seguinte forma:

$$A \cup B \cup C = A.\bar{B}.\bar{C} \cup A.B.\bar{C} \cup \bar{A}.B.\bar{C} \cup A.\bar{B}.C \cup \bar{A}.B.C \cup \bar{A}.\bar{B}.C$$

$A.\bar{B}.\bar{C}$ - Região A do gráfico da qual não fazem parte as intersecções com B e C. A esta região denomino de Modelo δI^* .

$A.B.\bar{C}$ - Região de intersecção entre A e B, ou seja, intersecção dos modelos δI e δI^* . Esta intersecção não se constitui como um modelo, mas sim uma flutuação entre os modelos que originam tal intersecção.

$\bar{A}.B.\bar{C}$ - Região B do gráfico da qual não fazem parte as intersecções com A e C. A esta região denomino de Modelo δI .

$\overline{A.B.C}$ - Região de intersecção entre A e C, ou seja, intersecção dos modelos δI^* e δIII .
A esta região denomino de Modelo δII ;

$\overline{A.B.C}$ - Região de intersecção entre B e C, ou seja, intersecção dos modelos δI e δIII .
Esta intersecção não se constitui como um modelo, mas sim uma flutuação entre os modelos que originam tal intersecção.

$\overline{\overline{A.B.C}}$ - Região C do gráfico da qual não fazem parte as intersecções com A e B. A esta região denomino de Modelo δIII .

Cada modelo δ constitui uma forma do sujeito dar significado à determinada situação ou problema. Neste caso, a situação posta é como os sujeitos diferenciam dois ou mais Referenciais. A seguir destacarei as peculiaridades de cada modelo δ , buscando relacionar, também, com os níveis descritos anteriormente. Porém, não analiso o Modelo δI^* separadamente, já que ao final da entrevista não foram encontrados sujeitos que continuassem com este modelo. Assim, abordo os aspectos relevantes deste modelo no decorrer da análise dos demais.

Modelo δI : Campo Visual

Este modelo, útil para diferenciar dois ou mais Referenciais, está relacionado com os níveis I e IIA. Isso porque há, nestes níveis, ainda uma indiferenciação (mesmo que parcial) entre o sujeito cognoscente, o observador e o Referencial. Assim, o Referencial depende do quê o sujeito observa, ou seja, o campo visual do observador. Abaixo alguns extratos de entrevistas com sujeitos que utilizam este modelo:

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa.

(Sujeito 002) – Há quantos Referenciais? *Da posição que eu estou olhando? Se eu estou olhando daqui, então um Referencial. Agora eu poderia estar olhando a partir daquele carro (A), daquele (B), daquele... E se cada bonequinho fosse um observador? Eu teria seis, mais eu aqui, mais um ali, ali, ali, [...] mais os carrinhos. Esses dois (C e D), por se moverem com a mesma velocidade, tu acreditas que eles formam um Referencial só ou seriam diferentes? Eu acredito que são dois. Um entrevistado falou que haveria cinco Referenciais (A-B, C-D, E, F e a mesa). Eu acredito que não, pois, pela minha noção de Referencial, esse daqui (C) enxergaria de um jeito e este (B) de outro. [...]*

O sujeito começa se colocando como um Referencial para explicar o problema proposto. A princípio isso pode ser entendido como um *egocentrismo*. Porém parece-me natural para uma primeira ação do sujeito. A questão é saber se ele irá descentrar, coordenando também os demais possíveis Referenciais. Posteriormente, nota-se que o sujeito adota Referenciais como sendo outros observadores, e não somente ele. Mas, no momento, o interesse é saber como o sujeito distingue os Referenciais. Ele começa sua fala com a pergunta: “Da posição que eu estou olhando?” Isso possibilita traçar a hipótese de que um Referencial, sendo um observador, depende do que ele vê, do que ele está “olhando”. O fim desta entrevista explicita bem esta ideia. No final desta etapa nota-se claramente como este sujeito diferencia dois ou mais Referenciais. Tomando A e B como observadores, logo Referenciais, o que os distingue não é a velocidade relativa entre eles, mas sim o campo de visão de cada observador, ao afirmar que “*este daqui enxergaria de um jeito*”. Logo, um Referencial implica um observador, assim como um observador implica um campo de visão (CV), levando a concluir que um Referencial implica campo de visão do observador:

$$(R \rightarrow O_{bs}).(O_{bs} \rightarrow CV) \supset (R \rightarrow CV)$$

Novamente, as implicações buscam dar significado à situação. Elas são originadas de várias tomadas de consciência das ações realizadas para resolver à

determinada situação. O conjunto das implicações, que envolvem assim as tomadas de consciência, constitui um modelo δ . Neste, especificamente, encontram-se sujeitos muito centrados em si próprios, ou seja, sujeitos que justificam a escolha pelo fato de eles próprios serem observadores. No extrato selecionado, o sujeito afirma que os carrinhos também são Referenciais. Os carrinhos, mais do que Referenciais, servem como suportes para que observadores “enxerguem” a situação. E isso se torna coerente quando o sujeito afirma que observadores em diferentes posições “enxergariam” coisas diferentes. Isso denota uma distinção entre Referenciais pelo campo de visão de cada observador que compõe o Referencial. O sujeito com suas implicações e inferências vê isto como um Referencial válido e necessário para ele, utilizando-o para dar significado aos problemas da Mecânica Clássica.

Os sujeitos que utilizam este modelo têm uma noção egocêntrica no sentido de que um Referencial não seria algo criado pelo sujeito como uma entidade matemática necessária para explicar os movimentos, mas, sim, adquire característica subjetiva, própria do sujeito cognoscente que, às vezes, atribui a outras pessoas a qualidade de Referencial e observador.

Modelo δ II: Referenciais diferentes para mensurar posição e velocidade

Depara-se aqui com sujeitos que julgam existir um conjunto de Referenciais para mensurar posição e um conjunto de Referenciais para mensurar velocidade. Assim, Referenciais que serviriam para mensurar posição não poderiam, ou não serviriam, para mensurar velocidade e vice-versa. O que chama a atenção, não somente neste modelo δ , é o fato de esta diferença se caracterizar realmente como uma construção do sujeito. Como já salientado em páginas anteriores, todos os sujeitos entrevistados foram meus alunos. Como professor, nunca elaborei a hipótese de existirem Referenciais exclusivamente para mensurar posição ou velocidade. Nem nos livros de Física

utilizados pelos sujeitos se encontra tal informação. Em entrevista informal com ex-colegas de trabalho, eles também não tinham conhecimento de que poderiam existir pessoas que pensassem de tal forma. Então, como estes sujeitos apresentam tais respostas que são contrárias a tudo que é ensinado pelos professores e livros? Esta pergunta não faz sentido e é muito coerente encontrar sujeitos que respondam de forma contrária às ideias aceitas na Mecânica Clássica. Alguns professores poderiam se perguntar: como ele aprendeu isso? Quem ensinou tal devaneio?

Segundo a Epistemologia Genética, não é necessário, e nem suficiente, que, para alguém aprender, um professor ou outra pessoa ensine. O sujeito constrói por si próprio, e isto não é um idealismo pois o conhecimento é construído na interação sujeito-objeto, um modelo pelo qual busca dar sentido às situações enfrentadas. Os modelos construídos pelos sujeitos não condizentes com a Física são comuns, já que as assimilações são sempre parciais, pois as “[...] abstrações, empíricas ou reflexionantes [...], não conseguem assimilar todo o real, pois este é ‘infinitamente’ superior à capacidade assimiladora do sujeito num determinado momento da psicogênese” (BECKER, 2001, p. 90). Marques (2005, p. 242) afirma que

[...] o erro é uma etapa do processo de construção, o que se pode observar ao longo de todo o desenvolvimento da ciência. Verdades tidas como absolutas na Idade Média – por exemplo, a afirmação de que a Terra é o centro do Universo – hoje são inaceitáveis. Teríamos chegado ao conhecimento atual sem os tropeços, desvios e recuos de outras épocas?

Neste modelo construído, mais do que em qualquer outro, encontram-se sujeitos que começam por explicitar suas ideias baseadas no modelo δI^* e, ao longo da entrevista, este modelo é subsumido a outro mais geral. Para o sujeito, suas ideias baseadas no modelo δI^* passam a ser percebidas como conflituosas frente às indagações levantadas pelo entrevistador. Se vistas como conflituosas, há um desequilíbrio cognitivo que o sujeito busca superar. São estes “tropeços, desvios e recuos” que Marques cita como um processo na construção do conhecimento. Como o sujeito os supera é o que analiso nos extratos abaixo.

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa

(Sujeito 010) – Há quantos Referenciais? *Um, os dois que estão parados (A e B), outro seria os dois que estão indo com a mesma velocidade (C e D), outro este (E) e este (F). Então, quatro. (desligo o equipamento). Um, pois estão todos parados. É, agora estou na dúvida se seria um ou seis. Tenho que saber em relação a quê? Em relação à velocidade? Em relação à posição? [...] Acho que são coisas diferentes. Nesta situação temos quantos Referenciais? Para posição seis. [...] E para medir velocidade? Terias que ligar o equipamento.*

Nota-se que o sujeito começa por evidenciar ideias pertinentes ao modelo δI^* . Ou seja, os sujeitos que se baseiam no modelo δI^* compreendem que dois observadores, e estes servindo como Referenciais, quando não possuem velocidade relativa entre eles, não há porque serem considerados dois Referenciais diferentes. Isso se torna explícito quando o sujeito 010 relaciona os observadores A-B e C-D. Por estes terem mesma velocidade, não haveria distinção dos seus Referenciais. Estas respostas são provenientes de simples regulações automáticas, onde conflito algum foi percebido pelo sujeito. Porém, quando se desliga o equipamento e todos os objetos sobre a mesa ficam parados (em relação a um Referencial fixo na mesa), ao analisar sua própria resposta ele se apercebe de um conflito proveniente de sua própria noção que até então era inconsciente. Para superar este conflito, regulações mais ativas serão necessárias.

Diante deste conflito, que muitos sujeitos se aperceberam, o modelo até então vigente (modelo δI^*) parece não conseguir se sustentar e acaba sendo subsumido em outro modelo (modelo δII) ou então eliminado (modelo δIII). Isso se deve à tomada de consciência dos meios empregados para a resolução do conflito. O fato do sujeito, inicialmente, ter uma noção em que dois observadores, por estarem com a mesma velocidade, compõem um único Referencial, até o momento o satisfazia, conseguindo resolver as situações até então experienciadas pelo sujeito. Porém, na entrevista, o sujeito se depara com uma situação nova. Buscando se apropriar desta nova situação, age sobre a situação proposta. Age com os mecanismos que até então construiu, elabora hipóteses e as testa. Faz inferências, apercebe-se de seus erros e acertos, toma consciência dos mecanismos utilizados e busca uma solução.

Neste caso que se está analisando, o sujeito acaba superando o conflito julgando existirem Referenciais para medir posição e Referenciais para medir velocidade. E isso fica claro ao afirmar que são “*coisas diferentes*”. O modelo δI^* continua existindo, mas agora possui um caráter particular. O caráter geral é que existem Referenciais para medir velocidade e Referencias para medir posição. O conjunto totalidade R de Referenciais seria composto por dois subconjuntos: Referenciais para medir posição (R_p); e Referenciais para medir velocidade (R_v):

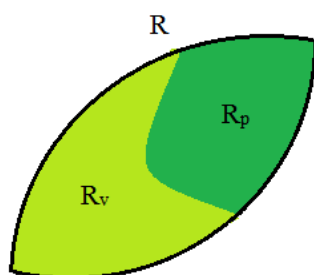


Figura 29

Tomando o conjunto totalidade R dos Referenciais, nota-se que os sujeitos deste modelo δ acabam por diferenciar um conjunto de Referenciais que possuem a qualidade de mensurar posição de um conjunto de Referenciais para medir velocidade. Pelo extrato da entrevista acima, o sujeito acaba por elaborar dois conjuntos que, juntos, compõem a totalidade R. Nota-se, ainda, que o modelo δI^* é subsumido no conjunto R_v , pois se há Referenciais especiais para mensurar velocidade, é necessário saber como, dentre estes, há a distinção. Esta distinção de Referenciais que compõem o conjunto R_v continua sendo dada segundo o modelo δI^* . Ou seja, o modelo δI^* continua existindo, porém, agora, subsumido a um novo modelo δ .

Contrário a teorias que afirmam que seria necessário esquecer um modelo para se constituir outro, vemos aqui um modelo que simplesmente se tornou um caso particular dentro de uma totalidade de situações.

Modelo δ III: Posição Relativa

Encontrei, também, sujeitos que têm uma noção onde a diferença entre dois ou mais Referenciais é dada pela posição no espaço. Concluí que tal noção é proveniente de uma organização a qual denominei de Modelo δ III, que constitui um modelo de significação. Assim como no modelo δ anterior, os sujeitos começam por explicitar ideias baseadas no Modelo δ I*, onde a diferença entre Referenciais é dada pela velocidade relativa entre eles. Porém, diferentemente dos sujeitos do modelo δ II, estes, ao se aperceberem de um conflito, buscam superá-lo de tal forma que o Modelo δ I* é eliminado, dando lugar a uma nova organização. Esta reorganização estrutural possibilita compreender que não existem Referenciais específicos para medir posição ou velocidade, mas na qual, a partir de qualquer Referencial pode-se mensurar a posição e a velocidade de um corpo. Isso fica evidente ao se analisar o extrato da entrevista que segue:

Etapa 2 – Relação entre objetos, observadores e Referenciais por meio da velocidade relativa

(Sujeito 015) – Há quantos Referenciais? Teriam cinco Referenciais. Vou adotar um mesmo Referencial para aqueles dois carrinhos (C e D), estes que estão parados (A e B), outro naquele (E), outro naquele (F) e um de fora, no caso eu. Porque adotaste estes dois (C e D) como um mesmo Referencial? Porque eles estão com a mesma velocidade. Mas tu não estás com a mesma velocidade que estes dois (A e B)? Ah, pois é... então seriam quatro. (desligo o equipamento) E agora? Quando todos estão parados basta um só para calcular todos. (ligo o equipamento). A distância que C mede para E é a mesma que D mede para E ou é diferente? Seriam medidas diferentes... são diferentes. Seriam Referenciais iguais ou diferentes? Poderiam ser diferentes, mas poderiam ser iguais também. Mas quando eles estão em movimento afirmaste que seriam iguais. Pois é... mas pensando melhor seriam dois Referenciais diferentes. Mesmo tendo mesma velocidade. Qual a velocidade que C observa para E? Velocidade v . Qual a velocidade que D observa para E? v também. Se eles observam a mesma coisa, não seria o mesmo Referencial? É o que eu falei antes. Em questão de velocidade seria, só que Referencial não é só velocidade, né? Teve outro entrevistado que afirmou existir Referenciais para medir posição e Referenciais para medir velocidade. Hmmm. Não, porque um mesmo Referencial serve para medir

posição e velocidade. Eu acho que um Referencial serve para medir as duas coisas.

No início da entrevista, este sujeito explicita ideias provenientes do Modelo δ I*. A questão que se coloca é: o quão estável é este modelo frente às indagações do entrevistador? Com a intervenção de contra-argumentos, o sujeito vê como conflituosa sua própria noção e tenta reelaborá-la. Quando chega à conclusão de que são “*dois Referenciais diferentes. Mesmo tendo mesma velocidade*”, nota-se aqui que esta fala não é proveniente de uma constatação empírica. Pode-se afirmar que esta confrontação de suas próprias respostas foi vista pelo sujeito como algo conflitante.

Quando o sujeito fala “*pensando melhor*” e coloca novas ideias em jogo, nota-se que estas são resultados de coordenações e não meras observações sobre os objetos físicos em jogo, nem mesmo podem ser provenientes de uma *iluminação*. Este resultado que se acaba de analisar, o qual foi constatado pelo sujeito, é fruto da própria atividade cognitiva do sujeito. Pode-se concluir que esta evolução de sua ideia é fruto de regulações ativas necessárias para superar tal conflito.

No final da entrevista, o sujeito supera tal noção, anteriormente exposta, e passa a identificar que um Referencial serve para mensurar tanto posição quanto velocidade. Se assim é, então como se dá a distinção entre eles? Quando responde “*Seriam medidas diferentes [...] seriam dois Referenciais diferentes. Mesmo tendo a mesma velocidade*”, esta não foi sua primeira análise, ou seja, de imediato não era isso que o sujeito tinha consciente. Estariam aí processos inconscientes que por regulações ativas as tornaram conscientes?

Conseguiu-se analisar claramente o resultado final das ações dos sujeitos. Ao aperceber-se de suas respostas, o sujeito toma consciência de duas ideias conflitantes. Pode-se dizer que tomou consciência de que, anteriormente, buscou implicar dois esquemas, ou dois conjuntos de esquemas, que, juntos, originam uma contradição. O sujeito poderia ter dito que existem Referenciais para medir posição e outros para medir velocidade, assim como os sujeitos do modelo δ II. Mas este não foi o caso, já que seria contraditório para o sujeito pensar que um Referencial não mesure velocidade e posição (e está correto, já que a velocidade depende da variação da posição).

Assim, numa busca incessante pela razão e coerência, toma consciência de suas ações, dos meios que emprega para resolver tal conflito. A atividade então tem como resultado a explanação final de que a diferença entre dois Referenciais se dá pela posição relativa entre eles, e não pela velocidade relativa entre eles.

Segundo Piaget (1977, p. 199), “Em caso de fracasso, trata-se de estabelecer porque ele ocorreu e isso leva à tomada de consciência de regiões mais centrais da ação”. Diria não somente do fracasso observado, que é consciente, mas o mesmo acontece quando ocorre um conflito de dois modelos. Por exemplo, quando o sujeito julga que Referenciais se diferenciam pela velocidade relativa, e o entrevistador desliga o equipamento, há uma contradição consciente para este sujeito que se analisou.

O sujeito julga, anteriormente, que tomando um Referencial fixo em cada ponto do espaço, cada um mensuraria uma posição diferente para um objeto. E com o equipamento desligado? O sujeito assimila algo novo. Há uma contradição em jogo: a diferença de Referenciais se dá pela posição relativa ‘e’ se dá pela velocidade relativa entre eles. A conjunção ‘e’ explicita esta contradição. Num primeiro momento estes modelos são contraditórios, o que leva o sujeito a tomar consciência dos mecanismos utilizados na elaboração de tais modelos. E faz isso justamente para superar este desconforto intelectual, superar este conflito. Ao superar, analisa que o mais coerente seria um Referencial ser distinguido de outro pela posição relativa entre eles, e não pela velocidade relativa.

5.3. Privilegiado, Inercial ou não-Inercial?

Como já mencionado, ao se estudar a mecânica newtoniana é necessária a compreensão da existência de dois sistemas de referência: o sistema de referência Inercial, para o qual são válidas e aplicáveis as leis de Newton; e o sistema de referência não Inercial, para o qual não são válidas as leis de Newton. Sabe-se que, para que um

objeto acelere, é necessário que aja sobre ele pelo menos uma força, fazendo variar o módulo da velocidade e/ou a direção da mesma. Tomando-se, por exemplo, uma pessoa A dentro de um carro que mantém uma velocidade constante e que em certo instante o motorista execute uma curva brusca para a direita. O que acontece com a pessoa que está dentro do carro? A pessoa certamente tenderá a se mover para a esquerda. A pessoa terá a sensação de ser lançada para fora da curva. Mas, se antes do carro efetuar a curva a pessoa estava repousando tranquilamente no banco do carro, por que ao ingressar nela a pessoa tem a sensação da ação de uma força sobre ela?

Na verdade nenhuma força é responsável pela sensação de estar sendo lançada para a esquerda. Porém, a pessoa está acelerando, já que, ao efetuar a curva, a direção do movimento varia. Como já explicitado acima, uma força pode variar a direção do movimento de um objeto, mesmo este continuando com a mesma velocidade (em módulo). Mas, se a pessoa que está dentro do carro está acelerada e não há nenhuma força que age sobre ela causando a sensação de ser lançada para fora da curva, como pode ser interpretada a segunda lei de Newton? Não há interpretação verdadeira de tal lei para esta situação, pois o Referencial que se toma como análise (um Referencial fixo no carro) está acelerado, constituindo assim um Referencial não Inercial. Sendo um Referencial não Inercial não é possível aplicar as leis de Newton de forma coerente com que acontece na realidade.

Então, como seria a interpretação deste exemplo perante um Referencial Inercial? Outra pessoa, um indivíduo B que se encontra repousando em um banco de uma praça, que observa todo o movimento do carro assim como o movimento da pessoa que está dentro dele, chegaria às seguintes conclusões: antes de o carro efetuar a curva, a pessoa A executava um movimento com velocidade constante e com trajetória retilínea; ao ingressar na curva, observa a pessoa A se movendo para a direita, no mesmo sentido do movimento do carro; assim, se antes de ingressar na curva a pessoa A estava se movendo em uma trajetória retilínea e depois, ao ingressar na curva, a trajetória de seu movimento passa a ser curvilínea, então agiu sobre ela pelo menos uma força que propiciasse tal efeito, ou seja, uma força para dentro da curva (e não para fora como indagava a pessoa A). Esta força provavelmente seria a força exercida pelo atrito do estofado do banco sobre a pessoa. Assim sendo, existiria, na interpretação da pessoa B, uma força agindo sobre a pessoa A causando-lhe uma aceleração. Esta interpretação

está de acordo com as leis de Newton. Isto porque tal interpretação é feita tomando-se um Referencial Inercial, no caso, um Referencial fixo na pessoa B²⁴.

Representando como T o conjunto dos possíveis Referenciais e T₁ como os Referenciais ditos Inerciais, temos:

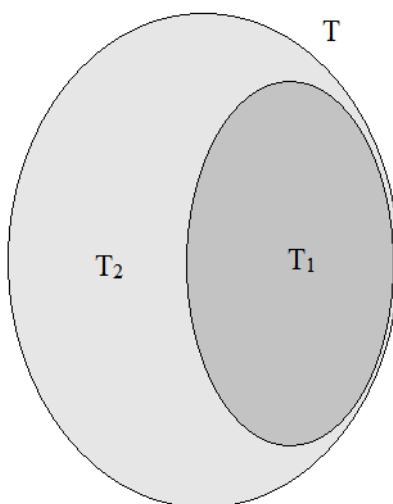


Figura 30

Sendo assim, pode-se notar que deve existir um terceiro conjunto que resulta da subtração de T₁ e T. Este conjunto resultante, T₂, refere-se ao conjunto dos Referenciais não Inerciais. A princípio, não há interesse em saber quantitativamente a dimensão do conjunto T compreendida pelos entrevistados. O que interessa é saber se há ou não a compreensão de que esta totalidade T é constituída de dois conjuntos, T₁ e T₂.

Constatee a partir da coleta de dados que a tomada de consciência dos conjuntos é solidária, ou seja, a tomada de consciência de T₁ induz à tomada de consciência de T₂. Porém, e os que não tomam consciência de nenhum destes conjuntos? Estes sujeitos tomam consciência do conjunto T, levando a crer que é tomando-se consciência de T que se chega à compreensão de que $T = T_1 + T_2$. Porém, estes sujeitos adotam um Referencial privilegiado para efetuar as mensurações. Assim, encontrei dois modelos de significação referente ao Referencial ser ou não ser Inercial. No Modelo I, que nomeei

²⁴ Como estão agindo várias forças sobre a pessoa B e estas não se anulam, um Referencial fixo nela não é um Referencial Inercial, já que está acelerado. Porém, como a aceleração do Referencial é muito pequena frente à aceleração do objeto que está sendo analisado, pode-se considerar o Referencial como sendo Inercial.

de “O Referencial Privilegiado”, encontram-se sujeitos que não atingem a totalidade T, ou seja, adotam um Referencial apenas, um Referencial privilegiado. O Modelo II intitulei simplesmente de “Os Sistemas”, pois os sujeitos deste modelo compreendem que há Referenciais Inerciais e Referenciais não Inerciais. Abaixo, segue um gráfico que representa as proporções entre as quantidades de sujeitos que respondem conforme cada um dos modelos que serão analisados separadamente a seguir:

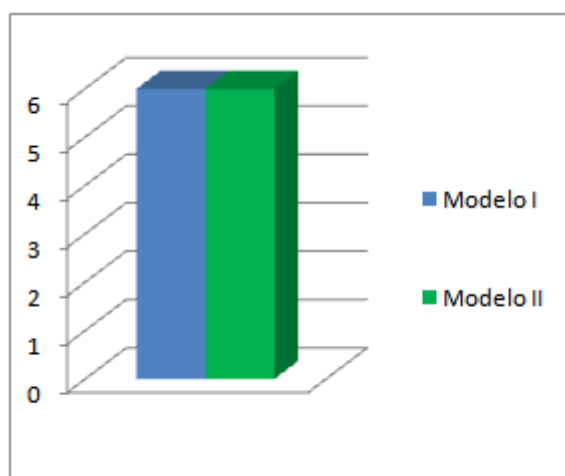


Gráfico 5

Modelo I - O Referencial Privilegiado

Quando, por exemplo, uma pessoa utiliza um automóvel para ir de um lugar a outro, tem-se a convicção de que a pessoa se move e por isso ela chega ao seu destino, e não o contrário, ou seja, que o destino se moveu até ela. Talvez sejam noções construídas a partir da tomada de consciência de exemplos simples do cotidiano que são comparadas de maneira conflituosa quando se estuda a Mecânica Clássica.

Mesmo observando, por exemplo, a linha tracejada de uma autoestrada em movimento, ou seja, observando as linhas se movendo contra a pessoa que está dentro do automóvel, dificilmente admite-se que realmente sejam as linhas que estão em

movimento e que a pessoa está parada. Porém, ao se adotar um Referencial fixo no carro, realmente o carro está em repouso e realmente é a linha pontilhada que está com certa velocidade. Em analogia a este exemplo, neste nível encontram-se sujeitos que adotam um Referencial privilegiado, normalmente vinculado ao solo. Para estes, no exemplo citado acima, o carro sempre estará em movimento e o chão sempre estará parado.

Etapa 3 - Diferença entre Referencial Inercial e não-Inercial

(Sujeito 006) - Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso? *Parece que ela vai acelerando, ela vai se distanciando de mim, e parece que ela vai aumentando a velocidade. E como explicas isso? Porque eu fui diminuindo a velocidade e ela (bolinha) continuou com a velocidade dela. Haveria algum Referencial que observasse a bolinha sempre com a mesma velocidade ou não? Algum Referencial na lateral dela (fora da plataforma). [...] E porque tu achas que tem essa diferença? Porque eu estava em movimento e diminuindo (desacelerando) e a bolinha continuou na velocidade dela. Na verdade, quem estava variando a velocidade era eu, mas no caso parecia que era a bolinha.*

(Sujeito 005) – [...] E porque tu achas que há essa diferença? *A diferença é que a bolinha manteve seu movimento, e eu é que mudei o meu. [...] Segundo o meu Referencial, ela começou a acelerar segundo minha desaceleração.*

(Sujeito 008) - Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso? *Depois que tu soltaste, eu comecei a desacelerar e a bolinha não. [...] E porque tu achas que há essa diferença (entre tuas observações)? Porque eu estava desacelerando. Porque na verdade quem estava com aceleração era eu e não a bolinha.*

(Sujeito 011) – [...] E porque tu achas que um Referencial fixo no chão observou algo diferente do que tu? *Porque o Referencial do chão está parado o tempo todo, ele não tem movimento nenhum. E eu estava em movimento.*

O sujeito 006 dá a entender que ele evidencia dois tipos de observações: uma verdadeira e uma relativa. Esta última, não verdadeira, é ressaltada quando em vários momentos se utiliza do verbo “parecer”. Ou seja, parece que é tal coisa, mas na verdade

é outra. Quando o sujeito busca explicar o fenômeno observado no experimento, ele deixa claro que tal explicação tem por base um Referencial privilegiado, que não é o dele. Curioso que isto parece não estar ligado a um egocentrismo, até pelo fato de ele próprio não se colocar como um Referencial. A tomada de consciência mais evidente neste nível é a existência e a necessidade de um Referencial privilegiado para efetuar medidas, seja de posição, velocidade ou aceleração. Normalmente este Referencial privilegiado está vinculado ao solo.

O pensamento do sujeito 011 é esclarecedor: “*porque o Referencial do chão está sempre parado*”. Sempre parado? É incontestável a existência, para este sujeito e para os demais citados acima, de um Referencial privilegiado: o chão. Este Referencial privilegiado é o mesmo adotado para os demais sujeitos selecionados para esta análise que, apesar de não explicitarem, o utilizam para significar todas as situações postas pelo entrevistador.

Porém, isso ressalta um problema quando à totalidade T. Se T é o conjunto dos possíveis Referenciais, e que $T = T_1 + T_2$, o Referencial privilegiado faz parte de T_1 ou de T_2 ? Anteriormente comentou-se que a tomada de consciência do conjunto T se faz necessária, mas não é suficiente, para a distinção dos dois conjuntos T_1 e T_2 . É coerente que os sujeitos deste nível considerem a existência de um Referencial privilegiado. Porém, isso não significa que exista apenas um Referencial. Para estes sujeitos, não há conjuntos T_1 e T_2 , mas sim Referenciais que compõem o conjunto T e a diferença entre estes é que um deles é o verdadeiro, no caso, o privilegiado.

Modelo II - Os Sistemas

Os sujeitos deste modelo de significação têm constituída a totalidade T e conseguem diferenciar os conjuntos T_1 e T_2 que juntos compõem esta totalidade. Assim, analiso principalmente os extratos da terceira etapa, onde se cria uma situação propícia para que o sujeito relacione duas situações que são vistas como conflituosas.

Etapa 3 - Diferença entre Referencial Inercial e não-Inercial

(Sujeito 004) – [...] **E porque tu achas que há essa diferença** (entre tua observação e a de um Referencial fora do sistema)? *Porque o Referencial que eu estava adotando, fazia parte do sistema também, então eu recebia a mesma força que a bolinha e o sistema. Já se fosse um Referencial fora do sistema, aí poderia ver a bolinha com a mesma velocidade em todo o percurso. Haveria algum Referencial que observasse tua velocidade sempre constante ou não? Qualquer ponto do carrinho, contanto que não fosse a bolinha.*

(Sujeito 013) - **Como tu descreverias o movimento da bolinha em todo o percurso?** *Ela continuou seguindo a trajetória dela com a velocidade dela. Observaste a velocidade da bolinha variando ou sempre a mesma? Para mim ela variava. Estava parada, depois entrou em movimento. Justamente porque o Referencial está dentro do carrinho. [...] Haveria algum Referencial que observasse a velocidade da bolinha sempre a mesma ou não? Tu parado lá de fora... E por que tu achas que eu observaria algo diferente do que tu? Porque nós aqui (parados) seríamos Referenciais Inerciais, não teríamos forças agindo sobre a gente.*

Ao contrário dos sujeitos que adotam um Referencial privilegiado, estes, por sua vez, conseguem fazer uma distinção entre sistemas de referência. O importante neste caso não é fazer com que o sujeito explicita que um Referencial é Inercial e outro é um não Inercial. O interessante é saber se o sujeito compreende que existe essa diferença. Quando indagado sobre o porquê da diferença entre duas observações (uma perante um Referencial Inercial e outra perante um Referencial não Inercial), os sujeitos conseguem descrever o motivo pelo qual são diferentes. Em ambos os casos os sujeitos mencionam a existência de uma força aplicada em um dos Referenciais e seria isso a causa das diferentes observações. Quando o sujeito está sobre o carrinho, ele observa que a velocidade da bolinha varia. Porém, tem a capacidade de coordenar dois pontos de vista. Para um Referencial fixo no solo, por exemplo, este mensuraria uma velocidade constante para a bolinha. Isto aparece de maneira clara na entrevista destes sujeitos. Além de conseguirem coordenar a análise de dois Referenciais, conseguem diferenciá-los pelo sistema do qual fazem parte.

Diferentemente dos sujeitos do Modelo I, estes conseguem coordenar dois ou mais Referenciais, tomando consciência de que a totalidade T é constituída de duas outras totalidades, T₁ e T₂, cada qual com suas leis de organização. A comparação das duas análises feitas pelo sujeito, ou seja, a primeira ele estando sobre a plataforma e a

segunda estando ele ao lado do pesquisador em repouso em relação a um Referencial fixo no solo, possibilita que ele diferencie aspectos relevantes no que tange à noção de Referencial Inercial. O confronto das duas análises não é posto pelo experimento nem pelo experimentador, pois cada análise feita pelo sujeito vai muito além dos dados observados. Ele infere existir aceleração para a bolinha em diferentes contextos, tomando diferentes Referenciais para a análise. Cada Referencial faz parte de uma totalidade coerente, possibilitando coordenar as conclusões feitas de cada análise, apontando as diferenças e semelhanças. Esta totalidade, referida como T, é constituída de outras duas: a totalidade constituída pelos possíveis Referenciais Inerciais e a totalidade constituída pelos Referenciais não Inerciais.

6. Considerações finais

Neste trabalho, busquei encontrar e analisar as noções de Referenciais Inerciais de estudantes de Física da UFRGS. A motivação inicial foi proveniente do trabalho durante dois anos, na condição de professor substituto no Instituto de Física da UFRGS, conseguindo acompanhar a dificuldade de muitos alunos frente aos temas relacionados à mecânica newtoniana. Além disso, ainda na graduação, pesquisei algumas dificuldades de certos alunos sobre a adoção de Referenciais na Mecânica Relativística.

Para melhor analisar as noções, achei interessante fazer alguns recortes nas entrevistas e agrupá-los de acordo com: o que é um Referencial? Como se distinguem dois ou mais Referenciais? Há a existência de sistemas de referência ou todos os Referenciais são válidos para a mecânica newtoniana? Assim, surgiram alguns modelos de estruturação do pensamento frente ao tema trabalhado. Feito isso, é interessante analisar como as respostas para estas perguntas se relacionam entre si. Uma pergunta ainda surge: haveria uma relação hierárquica entre as noções? Vale destacar novamente as noções analisadas, onde se tratou de analisar:

1. Como os sujeitos concebem um Referencial;

- 1.1. Nível I – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número limitado, como sendo um observador;
- 1.2. Nível IIA – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número limitado, como sendo observadores ou objetos físicos;
- 1.3. Nível IIB – Os sujeitos caracterizam os Referenciais, em número ilimitado, como sendo observadores ou objetos físicos;
- 1.4. Nível III – Os sujeitos desvinculam o Referencial de objetos físicos e de observadores.

2. Como os sujeitos distinguem dois ou mais Referenciais;

2.1. Modelo δI^* – A diferença entre os Referenciais depende da velocidade relativa;

2.2. Modelo δI – A diferença entre os Referenciais depende do campo de visão de cada observador;

2.3. Modelo δII – Diferentes Referenciais são usados para mensurar posição e velocidade;

2.4. Modelo δIII – A diferença entre Referenciais depende da posição relativa.

3. Como os sujeitos diferenciam (ou não) um Referencial Inercial de um não Inercial.

3.1. Modelo I - O Referencial Privilegiado – Dos inúmeros Referenciais, existe um privilegiado;

3.2. Modelo II - Os Sistemas – Há a distinção entre o sistema de referência Inercial e o sistema de referência não Inercial.

Partindo do princípio que a noção de Referencial Inercial está relacionada, direta ou indiretamente, com cada uma destas etapas analisadas, busco melhor compreender como elas se relacionam fazendo um mapeamento das entrevistas:

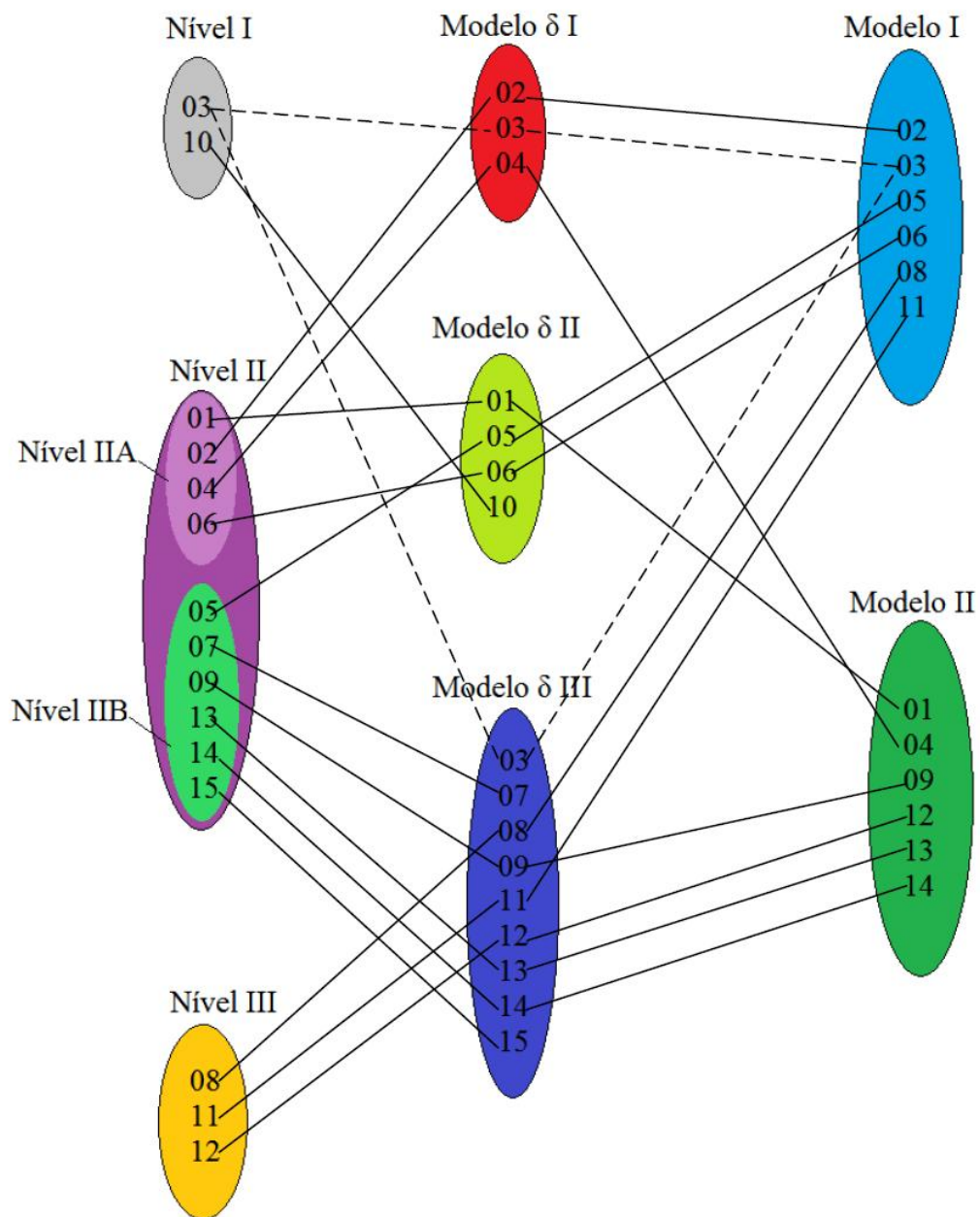


Figura 31

Analisando a figura acima, podem-se abstrair algumas informações interessantes, como o fato do Modelo δ III estar relacionando apenas com os Níveis IIB e III. Porém, os sujeitos do Nível III necessariamente diferenciam dois ou mais Referenciais pelo Modelo δ III, assim como a maioria dos sujeitos do Nível IIB. Isso porque se um sujeito tem a noção de Referencial desvinculada de observadores e objetos (Nível III), seria contraditório diferenciar dois ou mais Referenciais pelo campo visual (Modelo δ I) ou inferir a existência de Referenciais para medir posição diferentes dos Referenciais para

medir velocidade (Modelo δ II). Porém, isso não impede um sujeito que adote um Referencial sendo um observador o diferencie pela posição relativa (Modelo δ III). Neste caso, dois observadores, estando em posições diferentes, seriam dois Referenciais.

Os modelos δ I e δ II estão mais relacionados com os níveis em que um Referencial implica objetos e observadores (Níveis I e IIA, principalmente). Sujeitos que implicam Referenciais e observadores podem diferenciar dois ou mais Referenciais pelo campo de visão (Modelo δ I), já que, como são observadores, cada um teria um campo de visão diferente do outro.

Quanto ao Modelo I - Referencial Privilegiado - e ao Modelo II – Sistemas -, há uma relação mais direta com os níveis. É nesta relação que busco concluir este trabalho, apresentando as Noções de Referencial Inercial. Concluo que a Noção de Referencial Inercial é composta por duas organizações: uma relativa ao que se compreende ser um Referencial e outra relativa ao Referencial ser Inercial ou não Inercial. Assim, as noções de Referencial Inercial podem ser entendidas como uma relação dos níveis apresentados anteriormente (Nível IIA, Nível IIB e Nível III) com os modelos de significação (I e II). Não é coerente afirmar que os sujeitos do Nível I tenham uma noção de Referencial Inercial. Isso porque estes sujeitos adotam um Referencial privilegiado. Sendo privilegiado, não há duas totalidades, T_1 e T_2 , que possibilite ao sujeito coordenar duas análises feitas por diferentes Referenciais.

- Primeira Noção de Referencial Inercial

Caracteriza-se esta noção por definir Referenciais, em número limitado, como observadores ou objetos físicos. Além disso, estes Referenciais podem ser Inerciais ou não Inerciais. Os sujeitos que têm esta noção relacionam sua compreensão de Referencial com o atributo de ser Inercial. Pode-se afirmar que esta noção de Referencial Inercial é construída com a implicação entre a compreensão estabelecida no Nível IIA e no modelo II:

$$(\text{Nível IIA} \rightarrow \text{Modelo II}) \supset \text{Noção I}$$

Analisando a Figura 31 e retirando as relações entre o Nível IIA e os Modelos I e II, tem-se como resultado a figura abaixo:

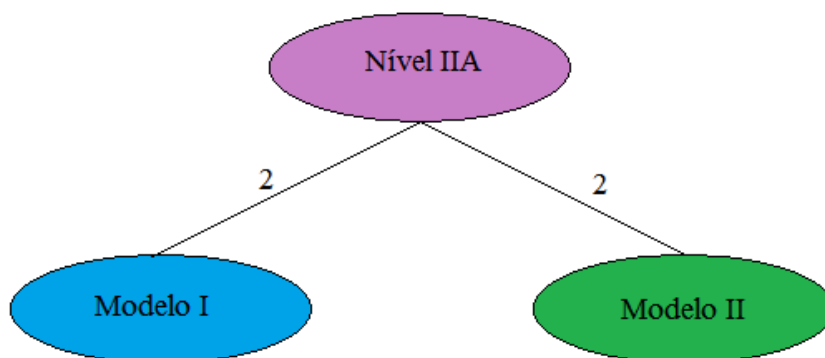


Figura 32

Nota-se realmente que a compreensão do que é um Referencial está desvinculada da compreensão de ser Inercial ou não Inercial. Haja vista que foram encontrados dois sujeitos do Nível IIA que adotam um Referencial Privilegiado (Modelo I) e dois sujeitos que evidenciam a existência de Referenciais Inerciais e Referenciais não Inerciais (Modelo II). Os dois sujeitos que utilizam o Modelo I, ou seja, adotam um Referencial Privilegiado para explicar situações da Mecânica Clássica, não construíram uma Noção de Referencial Inercial, mas somente uma Noção de Referencial.

- Segunda Noção de Referencial Inercial

Caracteriza-se esta noção por definir Referenciais, em número ilimitado, como observadores ou objetos físicos. Além disso, estes observadores e objetos físicos podem caracterizar um Referencial Inercial ou não Inercial. Os sujeitos que têm esta noção relacionam sua compreensão de Referencial com o atributo de ser Inercial. Esta noção de Referencial Inercial é construída com a implicação entre a compreensão estabelecida no Nível IIB e no modelo II. Sendo estabelecida a implicação, então a Noção II é construída:

(Nível IIB \rightarrow Modelo II) \supset Noção II

Analisando a Figura 31 e retirando as relações entre o Nível IIB e os Modelos I e II, tem-se como resultado a Figura abaixo:

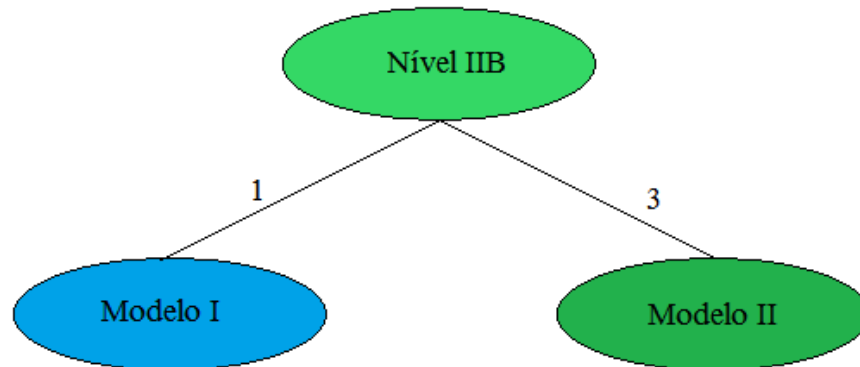


Figura 33

Nota-se, aqui também, que a compreensão do que é um Referencial está desvinculada da compreensão de ser ou não Inercial. Isto porque se encontrou um sujeito do Nível IIB que adota um Referencial Privilegiado (Modelo I) e três sujeitos que evidenciam a existência de Referenciais Inerciais e não Inerciais (Modelo II). Da mesma forma como na noção anterior, há sujeito que não têm construída a Noção de Referencial Inercial, mas somente uma Noção de Referencial. Porém, foram encontrados três sujeitos que relacionaram sua compreensão sobre o Referencial com o Modelo II, constituindo, assim, uma Noção de Referencial Inercial.

- Terceira Noção de Referencial Inercial

Esta última noção é caracterizada por Referenciais que são desvinculados de observadores e objetos físicos, sendo alocados em qualquer ponto do espaço. Estes Referenciais podem ser Inerciais ou não Inerciais, dependendo do valor da sua aceleração. Os sujeitos que têm esta noção relacionam sua compreensão de Referencial

apresentada no Nível III com o atributo de ser Inercial. Esta noção de Referencial Inercial é construída com a implicação entre a compreensão estabelecida no Nível III e no modelo II:

$$(\text{Nível III} \rightarrow \text{Modelo II}) \supset \text{Noção III}$$

Analisando a Figura 31 e retirando as relações entre o Nível III e os Modelos I e II, tem-se como resultado a Figura abaixo:

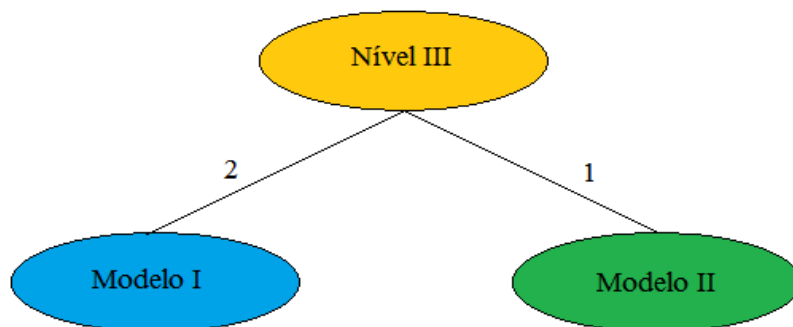


Figura 34

Tanto nesta noção quanto nas demais apresentadas, a compreensão do que é um Referencial está desvinculada da compreensão do atributo Inercial ou não Inercial. Talvez isso seja um dos aspectos mais importantes na conclusão deste trabalho. Tinha como hipótese encontrar noções de Referencial, conseqüentemente, Inercial. Porém, os dados obtidos mostraram que há uma construção da noção de Referencial desvinculada do fato de ser ou não Inercial. De nada serve a um professor falar de Referencial Inercial para um aluno se este não tiver construída uma noção de Referencial. Encontrou-se, neste trabalho apenas um sujeito, dos quinze entrevistados, que possui a Noção III. Noção esta elaborada o suficiente para dar significado a uma grande quantidade de situações referentes à Mecânica Clássica.

O fato de existirem sujeitos cuja compreensão está relacionada com os Níveis IIA, IIB e III e com o Modelo I mostra um importante resultado frente à totalidade T dos possíveis Referenciais. Poder-se-ia pensar como seria possível a um sujeito compartilhar a noção de que observadores e objetos, em número ilimitado (Nível IIB), serem Referenciais com o fato de existir um Referencial privilegiado (Modelo I). Isso mostra a existência da totalidade T dos possíveis Referenciais, mas sem a compreensão de que esta totalidade T é constituída de duas subtotalidades, T_1 e T_2 . Assim sendo, pode-se concluir que para estes sujeitos, dentro da totalidade T de possíveis Referenciais, há um deles que é qualificado como privilegiado, sendo a análise feita por ele verdadeira. Porém, isso não quer dizer que os demais Referenciais (os não privilegiados) sejam falsos ou não existam para o sujeito.

Concluo pois que um sujeito que tenha construído esta noção de Referencial Inercial é capaz de alocar um Referencial em qualquer ponto do espaço, desvinculado de objetos e observadores e inexistente na natureza. Ou seja, tem a capacidade de criar algo que possibilite resolver os problemas da Mecânica Clássica. Ainda, tal noção possibilita ao sujeito distinguir dois ou mais Referenciais levando em consideração as medidas de posição e velocidade de um determinado objeto em movimento. Além disso, esta noção de Referencial Inercial possibilita que o sujeito reconheça, dentro de uma totalidade de infinitos Referenciais, dois conjuntos de referência, o Inercial e o não Inercial, bem como as consequências de se adotar um ou outro na Mecânica Clássica. Ou seja, uma noção de Referencial Inercial deve ser capaz de dar subsídios para que o sujeito aja sobre uma infinidade de situações. O sujeito, tendo construída tal noção, é capaz de responder principalmente as perguntas: o que é um Referencial? Como se distinguem dois ou mais Referenciais? Todos os Referenciais são válidos para se interpretar fenômenos a partir da Mecânica Newtoniana?

Analisei neste trabalho as noções de Referencial Inercial de estudantes de Física da UFRGS. Apesar de ter trabalhado com um pequeno número de sujeitos, tenho como hipótese de que muitos alunos de Física, sejam do Ensino Médio ou do Superior, têm estas noções de Referencial Inercial. Pretendo com este trabalho, além da divulgação dos resultados para os professores e alunos, originar outros trabalhos tendo como base esta dissertação. Trabalhos que possibilitem ao professor refletir sobre sua prática em sala de aula, como ele se porta frente aos temas que leciona e à aprendizagem de seus

alunos. Especialmente para os professores de Física, tenho o interesse de mostrar a importância de se trabalhar com seus alunos o Referencial na Mecânica.

Tenho como objetivo maior, para um trabalho futuro, abordar, a partir desta dissertação, a relação entre a noção de Referencial Inercial da Mecânica Clássica e a noção de Referencial da Mecânica Relativística.

A meu ver, este trabalho superou os objetivos propostos, o que possibilitará possivelmente a inserção dos resultados desta pesquisa nas práticas de docentes e de outros pesquisadores da área.

7. Referências

- ABBAGNANO, N. *Dicionário de Filosofia*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- ARRUDA, S. M. *Mudança conceitual no ensino de ciências*. Caderno catarinense de ensino de Física, Florianópolis, v.11, nº 2, p. 88-99, ago. 1994.
- AYALA FILHO, A. L. e FREZZA, J. S. *A construção de um perfil conceitual de Referencial na aprendizagem da Teoria da Relatividade*. In: Anais do II Encontro Estadual de Ensino de Física – RS, 2007.
- BATTRO, A. M. *Dicionário terminológico de Jean Piaget*. São Paulo: Pioneira, 1978.
- BECKER, F. *Educação e construção do conhecimento*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001.
- _____. *O caminho da aprendizagem em Jean Piaget e Paulo Freire: da ação à operação*. Rio de Janeiro: Petrópolis, 2010.
- BERTOLUCCI, C. C. *Noções de Infinito matemático em adolescentes e adultos*. Porto Alegre: UFRGS/FACED/PPGEdu. Dissertação de Mestrado, 2009.
- CHIAROTTINO, Z. R. *Piaget: Modelo e Estrutura*. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1972.
- COLINVAUX, D. *A formação do conhecimento físico: um estudo de causalidade em Jean Piaget*. Rio de Janeiro: EDUFF, 1992.
- DELVAL, J. *Introdução à prática do método clínico: descobrindo o pensamento das crianças*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2002.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E. e SCOTT, P. *Construindo conhecimento científico na sala de aula*. Química Nova na escola, nº 9, mai. 1999.
- EINSTEIN, A. *A teoria da relatividade especial e geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.
- FRAISSE, P. *Tratado de psicologia experimental*. Rio de Janeiro: Forense, 1968.
- GOMES, L. C. e BELLINI, L. M. Uma revisão sobre aspectos fundamentais da teoria de Piaget: possíveis implicações para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 2, 2301, 2009.
- GRAVINA, M. H. e BUCHWEITZ, B. *Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade*. Revista brasileira de ensino de Física, v.16, nº 1-4, p. 110-119, ago. 1994.

INHELDER, BOVET e SINCLAIR. *Aprendizagem e estruturas do conhecimento*. São Paulo: Saraiva, 1977.

KNIGHT, R. *Física 1: uma abordagem estratégica*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LEITE, B. *Piaget e a Escola de Genebra*. São Paulo: Cortez, 1995.

MARQUES, T. B. I. *Do Egocentrismo à Descentração: a docência no ensino superior*. Porto Alegre: UFRGS/FACED/PPGEdu. Tese de doutorado, 2005.

MERLEAU-PONTY, M. *Fenomenologia da Percepção*. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

MONTANGERO, J. e MAURICE-NAVILLE, D. *Piaget ou a inteligência em evolução*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

NEWTON, I. *Princípios matemáticos da filosofia natural*. São Paulo: Nova Stella Editorial, 1990.

PEDUZZI, L. O. Q, ZYLBERSZTAJN, A. e MOREIRA, M. A. *As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em mecânica: o Referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento*. Revista brasileira de ensino de Física, v.14, nº 4, p. 239-246, ago. 1992.

PIAGET, J. e INHELDER, B. *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança: conservação e atomismo*. Rio de Janeiro: Zahar, 1971.

_____. *A representação do mundo na criança*. Rio de Janeiro: Record, 1926.

_____. *Psicologia da inteligência*. Rio de Janeiro: Ed. Fundo de Cultura, 1958.

_____. *A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Zahar, 1976a.

_____. *Ensaio de lógica operatória*. São Paulo: Globo/EDUSP, 1976b.

_____. *A tomada de Consciência*. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1977.

_____. *Fazer e compreender*. São Paulo: Melhoramentos, 1978.

_____. *A epistemologia genética / Sabedoria e ilusões da filosofia; Problemas de psicologia genética*. 2ª ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

_____. *O possível e o necessário. Evolução dos possíveis na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1985.

_____. *O possível e o necessário. Evolução dos necessários na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1986.

- _____. *O nascimento da inteligência na criança*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- _____. *Abstração Reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.
- _____. *A construção do real na criança*. São Paulo: Ática, 1996.
- PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- RESNICK, R. *Física*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2003.
- ROCHA, J. F. *Origens e evolução das ideias da Física*. Bahia: EDUFBA, 2002.
- SILVA, J. A. *Modelos de significação e pensamento lógico-matemático: um estudo sobre a influência dos conteúdos na construção da inteligência*. Porto Alegre: UFRGS/FACED/PPGEdu. Tese de doutorado, 2009.
- SILVEIRA, F. L. *A teoria do conhecimento de Kant: o idealismo transcendental*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v.19, número especial: p. 28-51, jun. 2002
- _____, MOREIRA, M. A. e AXT, R. *Validação de um teste para detectar se o aluno possui a concepção Newtoniana sobre força e movimento*. Ciência e Cultura, 38 (12), dez. 1986.
- VINH-BANG. *El método clínico y La investigación en La psicología de nino*: In: AJURIAGUERRA, J. *Psicología y Epistemología Genética*. Buenos Aires: Proteo, 1970.
- WOLFF, J. F. de S. e MORS, P. M. *Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein*. In Textos de apoio ao professor de física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física; editores Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit; Vol. 16, n. 5, 2005.