

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
INSTITUTO FEDERAL SUDESTE DE MINAS GERAIS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Tatiane Feu Teixeira Santiago

MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS CONCEITUAIS:  
DESENVOLVENDO O CONCEITO DE CENTRO DE GRAVIDADE

Juiz de Fora  
2018

Tatiane Feu Teixeira Santiago

**MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS CONCEITUAIS:  
DESENVOLVENDO O CONCEITO DE CENTRO DE GRAVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora  
2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santiago, Tatiane Feu Teixeira.

Modelo de Ensino para Mudanças Conceituais : Desenvolvendo o Conceito de Centro de Gravidade / Tatiane Feu Teixeira Santiago. -- 2018.

107 f.

Orientador: Paulo Henrique Dias Menezes

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

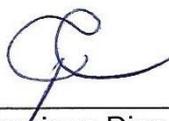
1. Ensino de Física. 2. Modelo Cognitivo. 3. Centro de Gravidade.  
I. Menezes, Paulo Henrique Dias, orient. II. Título.

Tatiane Feu Teixeira Santiago

MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS CONCEITUAIS:  
DESENVOLVENDO O CONCEITO DE CENTRO DE GRAVIDADE

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 24: Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 24 de agosto de 2018, por:



Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes – Orientador



Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara – IF - Sudeste-MG



Prof. Dr. Alysso Miranda de Freitas – UFJF

Juiz de Fora, MG  
Agosto de 2018

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho às pessoas mais presentes em minha vida:

Minha Mãe, pela parceria de sempre.

Meu Pai, exemplo de homem.

Meus irmãos, Emerson, Cláudio e Adriano, pelo incentivo e confiança.

Meu esposo, Eptácio, por estar ao meu lado nos melhores e piores momentos de minha vida.

Celina, meu maior presente!

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a DEUS, já que ele colocou esses “Gigantes” a meu lado e, “Sobre os Ombros desses Gigantes”, pude realizar esse sonho.

Aos meus pais, Milton e Dilcinha, meu eterno agradecimento. Ao meu pai por me ensinar a ser forte diante da sua eterna saudade e à minha mãe por estar sempre ao meu lado. Obrigada pelo amor incondicional!

Ao meu esposo, Epitácio, que exige uma mulher forte, guerreira e vitoriosa ao seu lado, sendo, em troca, companheiro, amigo, paciente e compreensivo. Obrigada por ter feito do meu sonho o nosso sonho!

À minha filha, Celina, que é o principal elemento de motivação. Ela me faz querer sempre mais!

Aos meus irmãos, Cláudio, Emerson e Adriano, que sempre se orgulharam de mim, mesmo quando eu desanimava. Obrigada pela Confiança!

Aos meus sogros, Martha e Epitácio, que são os pais que Deus presenteou-me, reforçando os exemplos de vida que preciso. Obrigada pelos ensinamentos!

Ao meu Orientador, professor Doutor Paulo Henrique Dias Menezes, por toda a paciência e empenho que me orientou neste trabalho e pela imensa contribuição na minha formação durante a graduação. Por várias vezes, me percebi construindo conceitos e exercendo com autoridade o conhecimento que aprendi através dele durante as Práticas de Ensino. Muito obrigada por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar e por exercer com fidelidade aquilo que ensina aos seus alunos. É um exemplo de educador e espelho para todos que acreditam na Educação. Obrigada por compartilhar bons momentos de diálogos e discussões, ensinando-me a lidar com as dificuldades e potencializando minha capacidade de aprender, além de apresentar as possibilidades de enxergar os temas de Física e de Ensino sob a ótica da sua abrangência, beleza e interesse, incentivando o desejo pelo aprimoramento constante.

Agradeço a todos os professores do mestrado. Juntos construímos mais um degrau frente às necessidades do Ensino de Física na nossa sociedade. Obrigada por compartilhar o conhecimento!

A meus colegas e amigos do mestrado, que juntos dividimos momentos de incertezas e desafios, mas, também, de alegria e de descontração em deliciosos cafés! Obrigada pela companhia de vocês!

A todos os meus sinceros agradecimentos, afinal ninguém vence sozinho!

Agradecemos à FAPEMIG pelo apoio de taxa de bancada - Projeto MPR 00703-15

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

## RESUMO

### MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS CONCEITUAIS: DESENVOLVENDO O CONCEITO DE CENTRO DE GRAVIDADE

Tatiane Feu Teixeira Santiago

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

O objetivo deste trabalho é propor, organizar e discutir uma sequência didática composta por um conjunto de atividades, em níveis crescentes de complexidade, que permita o desenvolvimento progressivo do conceito de Centro de Gravidade com base no modelo cognitivo de Piaget e Garcia para mudanças conceituais. Para isso, foram consideradas as etapas sucessivas de construção de conhecimentos causais, compostas pelas tríades dialéticas, nas etapas, à saber: intra, inter e trans-objetal. Este modelo de ensino permitiu conduzir as possibilidades de entendimentos dos alunos em níveis superiores aos que imaginávamos, concretizadas nos momentos de instabilidades, das flutuações e do posterior encontro da equilíbrio das ideias. Neste processo de rupturas e transformações, o aluno é o sujeito ativo capaz de ampliar, transformar e construir o conceito de Centro de Gravidade. A sequência didática foi aplicada em duas turmas do 2º ano do Ensino Médio de uma escola particular de um município do interior do estado do Rio de Janeiro. Durante a aplicação examinou-se em detalhes a evolução do conceito de ponto de equilíbrio como um indicador capaz de apontar as formas de entendimento dos alunos ao longo das atividades. As ações desenvolvidas possibilitaram ainda, a reflexão sobre a importância da intervenção docente na construção e aplicação da sequência didática enquanto instrumento de ensino capaz de promover a aprendizagem. Os resultados revelam que a incerteza compartilhada entre alunos, e entre eles e o professor, é elemento fundamental no processo de equilíbrio e desequilíbrio das ideias, permitindo a ocorrência da mudança conceitual e a apropriação do objeto de conhecimento pelo aluno de uma forma mais significativa, contribuindo para enfrentar os desafios do ensino de Física na sociedade contemporânea.

Palavras-chave: Ensino de Física, Modelo Cognitivo, Centro de Gravidade.

Juiz de Fora  
2018

## ABSTRACT

### TEACHING MODEL FOR CONCEPTUAL CHANGES: DEVELOPING THE GRAVITY CENTER CONCEPT

Tatiane Feu Teixeira Santiago

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

The objective of this work is to propose, organize and discuss a didactic sequence composed of a set of activities, at increasing levels of complexity, allowing the progressive development of the concept of the Center of Gravity, based on the cognitive model of Piaget and Garcia for conceptual changes. For this, the successive stages of the construction of causal knowledge, composed by the dialectical triads, namely, the intra, inter and trans-object stages were considered. This model of teaching allowed us to lead the students' possibilities of understanding at higher levels than we imagined, materialized in moments of instabilities, fluctuations and the subsequent encounter of balancing ideas. In this process of ruptures and transformations, the student is the active subject capable of amplifying, transforming and constructing the concept of Center of Gravity. The didactic sequence was applied in two classes of the second year of high school in a private school in a city in the interior of the state of Rio de Janeiro. During the application, the evolution of the concept of break-even point was examined in detail as an indicator capable of pointing out the students' understanding forms throughout the activities. The actions developed also allowed the reflection on the importance of the teacher intervention in the construction and application of the didactic sequence, as a teaching instrument capable of promoting learning. The results reveal that the uncertainty shared among students, and between them and the teacher, is a fundamental element in the process of balancing and unbalancing ideas, allowing the occurrence of conceptual change and the appropriation of the object of knowledge by the student in a more meaningful way, contributing to face the challenges of physics teaching in contemporary society.

Keywords: Physics Teaching, Cognitive Model, Gravity center

Juiz de Fora  
2018

# Sumário

Capítulo 1 Introdução .....	9
1.1 Apresentação .....	9
1.2 Justificativa .....	11
1.3 Objetivos .....	13
1.3.1 Objetivo Geral .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4 Estrutura da dissertação .....	14
Capítulo 2 Referencial Teórico .....	15
2.1. Equilíbrio Estático e Centro de Gravidade no ensino de Física .....	15
2.1.1. A evolução do conceito de centro de gravidade .....	20
2.2. Equilíbrio Estático e Centro de Gravidade em livros didáticos de Ensino Médio .....	23
2.3 A teoria de Piaget sobre mudança conceitual .....	27
Capítulo 3 Metodologia .....	30
3.1 Aplicações da Sequência Didática em Sala de Aula .....	30
3.2 Aplicando a Sequência Didática .....	34
3.2.1 – Aplicação da Sequência Didática em Sala de aula.....	34
3.2.2 Sujeitos da Pesquisa .....	36
Atividade 01: O centro de gravidade a partir das figuras planas regulares (Círculo, retângulo e triângulo) .....	37
Atividade 02: O centro de gravidade de figura plana não regular- O Boneco Equilibrista. ....	38
Atividade 03: O centro de gravidade de figura plana não regular- O Boneco Equilibrista e a figura regular Triângulo. ....	40
Atividade 04: O centro de gravidade de figura plana regular, Boneco equilibrista, com uma figura plana Tridimensional (joaninha teimosa). ....	41
3.3 Entendendo o modelo Fractal das etapas na Atividade realizada .....	42
3.4 A aplicação dos roteiros de atividades em sala de aula .....	45
3.4.1. Descrição da 1ª Aula .....	45
3.4.2. Descrição da 2ª Aula .....	49
3.4.3. Descrição da 3ª Aula .....	55
Capítulo 4 Análise e Resultados .....	61
4.1. Análise da primeira atividade .....	64
4.2. Análise da segunda atividade .....	68
4.3. Análise da terceira atividade .....	69
4.4 Análise da quarta atividade .....	72
4.5. A evolução do conceito de centro de gravidade .....	75

Capítulo 5 Considerações Finais .....	77
Referências Bibliográficas .....	83
Apêndice A: Produto Educacional .....	85
Anexo A Atividades lúdicas de equilíbrio .....	100
Anexo B Molde dos Bonecos Equilibristas .....	103
Anexo C Molde das Figuras Geométricas .....	104
Anexo D Construção da Joanhinha Teimosa .....	105

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Apresentação

Minha formação acadêmica ocorreu no período entre 2009 a 2015, sendo que em 2013 fui titulada como Bacharel em Ciências Exatas, pelo Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora e, em 2015, licenciada em Física pelo Departamento de Física da mesma Universidade. Em setembro de 2015, depois de formada, comecei a dar aula de raciocínio lógico em um curso preparatório para concursos públicos. Na mesma época, iniciei dois cargos como professora de Física, um na rede estadual de educação e outro na rede particular de ensino.

Ainda na graduação tive experiências em pesquisa no ensino de Física entre 2012 e 2013, quando atuei, na condição de voluntária, em um projeto que investigou a formação docente no subprojeto do PIBID-Física da UFJF. Na época participei da elaboração de um Diário de Bordo com as principais questões levantadas por bolsistas e professores orientadores durante as reuniões do subprojeto e também da transcrição das gravações dessas reuniões. Esta pesquisa resultou na apresentação do trabalho intitulado *Formação e Desenvolvimento Profissional de Professores de Física: a influência da participação no PIBID* (MENEZES, TEIXEIRA, LOBÃO, 2013), premiado no XIX Seminário de iniciação Científica da UFJF.

Durante a participação nessa pesquisa surgiu a possibilidade de atuar no PIBID como bolsista de iniciação à docência na rede estadual de Minas Gerais. A perspectiva era inserir atividades experimentais no Ensino Médio e gerar discussões sobre os conceitos, buscando sempre uma postura mediadora e investigativa, explorando as ideias prévias dos alunos e, ao mesmo tempo, criando possibilidades de estruturação das mesmas.

O resultado do trabalho desenvolvido no PIBID gerou a apresentação e publicação do artigo "Experimentos no Ensino de Eletrodinâmica" (FRANCO et. al., 2013) no XX Simpósio Nacional em Ensino de Física. No primeiro semestre de 2015 tive a oportunidade de cursar a disciplina "Instrumentação II" que oportunizou o estudo de várias teorias de aprendizagem à sua construção de um trabalho final no

formato de uma sequência didática. Nessa disciplina fizemos um estudo muito interessante sobre o Índice de Letramento Científico (ILC), que revelou dados preocupantes sobre o analfabetismo científico no Brasil. Paralelo a isso, estudamos as concepções de “escola” enquanto espaço de formação no Brasil e no exterior. Por meio dessas experiências pude perceber que a educação brasileira clama por mudanças imediatas e que o professor é peça fundamental nesse processo.

Foi nesse contexto que surgiu a necessidade de aprofundar os estudos sobre as teorias de ensino e a prática do professor em sala de aula. Naquele momento, eu já apresentava alguma experiência docente e concluía minha graduação, e o mestrado profissional surgiu como uma possibilidade de ampliar meus conhecimentos e refletir com mais profundidade sobre as questões relacionadas ao ensino e aprendizagem de Física.

Ao longo dos cinco anos de graduação grande parte das experiências docentes que eu tive aconteceram de modo informal, por meio de aulas particulares. Mesmo assim foi um período de grande contribuição para a minha formação, considero como o estágio mais significativo que realizei durante a graduação. Por não ter tido outro vínculo empregatício nesse período, sempre trabalhei com as aulas particulares com muita seriedade, sempre recebi na minha sala os pais juntamente com os alunos e conversávamos por muito tempo, eles explicando as dificuldades que encontravam na escola, com o professor e com a matéria e eu sempre anotando os pontos mais importantes da conversa, para traçar uma estratégia de estudos que pudesse efetivamente colaborar para o aprendizado do aluno.

O público das aulas particulares sempre foi muito diversificado: alunos de escolas particulares e públicas, alunos com laudos médicos de transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDHA), Síndrome de Asperger, Síndrome de Down; alunos com problemas de saúde que caracterizava internações no decorrer do ano letivo, impossibilitando o acompanhamento regular das aulas, alunos com câncer, alunos surdos e também alunos que não tinham nenhum tipo de problema de saúde, mas que estudavam muito para alcançar as melhores colocações nos vestibulares. A principal queixa desses alunos era *“não entendo nada que meu professor fala!”*

Por acreditar que hoje meus alunos, provavelmente, também não entendem o que eu falo, percebi que não posso ensinar apenas pela palavra, precisava fazer

coisas diferentes para não repetir aquele padrão de um ensino que ninguém aprende.

Na época das aulas particulares eu podia sentar com cada aluno, com horários determinados por mim, para ensinar e aprender com eles. Uma característica que herdei dessa época, que é preservada até hoje nas minhas aulas, é imaginar que todos os meus alunos são como aqueles meninos e meninas que chegavam na minha casa com dificuldades em busca de ajuda. Hoje não consigo conviver com meus alunos sem ter a preocupação de ser compreendida. Aqueles alunos das aulas particulares marcaram a minha vida e, por eles, por respeito a eles, não posso ser ingênua de pensar que comigo dando aula é diferente. Tenho a determinação de tentar fazer a cada dia uma aula melhor que a anterior e foi com esse objetivo que busquei o mestrado profissional, na expectativa de encontrar atalhos que possibilitem caminhar nessa direção.

## **1.2 Justificativa**

Durante a graduação li um texto intitulado “Joãozinho da Maré” sobre uma crítica ao ensino de ciências ministrado nas escolas. Joãozinho, morador da Favela da Maré que poucas vezes frequentava a escola, carregava consigo a semente do questionamento, do desejo incansável de uma criança de querer saber os porquês de tudo. Não tinha medo e nem vergonha de confrontar o conhecimento que sua professora ensinava com aquilo que ele observava no dia a dia. Infelizmente, com o passar do tempo frequentando a escola, a criança vai perdendo essa capacidade de questionar e passa a aceitar as informações sem refletir, sem duvidar. Joãozinho era diferente porque questionava e, graças aos seus questionamentos, a professora pôde perceber que, por muitos anos havia ensinado algo errado, sem se dar conta de que a natureza não se comportava daquela maneira. Foi preciso ser desafiada por aquele menino para que pudesse refletir sobre a sua prática.

No primeiro dia de aula eu sempre levo esse texto para sala e leio com meus alunos para mostrar a importância de questionar, de não aceitar as coisas sem, de fato, compreendê-las. Falo da ciência enquanto construção humana e aproveito para fazer perguntas, não me preocupando com as respostas, mas com as reflexões que elas podem proporcionar. No final dessa aula firmamos um acordo: eu vou tentar ser

diferente daquela professora de Ciências e eles tentarão ser para sempre “Joãzinhos”.

No momento em que faço as perguntas, crio o ambiente necessário para discutir Física e despertar nos alunos o interesse pelas respostas. Mas esse interesse só vai surgir se as perguntas que eu fizer forem de interesse deles, se estiverem de alguma forma presente em suas vidas, caso contrário toda aquela conversa não vai servir para nada. Em geral, queremos saber sobre aquilo que é do nosso interesse. Por outro lado, parece que, ao assumirmos a personagem do professor, esquecemos disso ao anotar no quadro fórmulas e mais fórmulas desprovidas de sentido para os alunos tal como a função horária do MRUV, por exemplo, que representa um tipo de movimento presente no seu dia a dia e que da maneira que é apresentada aos alunos serve apenas para fazer exercícios que caem nas provas e nos vestibulares que irá prestar futuramente. Isso acontece com muitos tópicos da Física que, por mais interessantes que possam ser, são apresentados como um amontoado de fórmulas e conceitos que os alunos devem decorar para repetir nos exames.

Diante desse entrave procurei estudar uma maneira de ensinar que pudesse ser mais significativa para os alunos, que permitisse a eles construir o seu próprio aprendizado. Por esse motivo, este trabalho é orientado pela teoria construtivista de Piaget. E, para explorar essa teoria, escolhi como tema um assunto cujo entendimento é pouco explorado no Ensino Médio: o Centro de Gravidade. É um conceito fortemente presente no ensino de mecânica clássica, mas, de um modo geral, pouco compreendido pelos alunos. A pouca atenção dada a este tema pode ser observada, inclusive, por sua quase total ausência em questões de vestibulares e do ENEM. Por outro lado, trata-se de algo fortemente presente no nosso dia a dia, do equilíbrio do nosso próprio corpo aos enormes arranha-céus e gigantescas pontes. Que interfere no modo de caminhar e correr das pessoas.

A localização do centro de gravidade no corpo humano é tema de estudos que tratam do equilíbrio corporal e as variáveis envolvidas na sua localização em diversas populações (LEMOS, TEIXEIRA, MOTA, 2010). As características físicas, genéticas e o gênero dos indivíduos afetam o equilíbrio corporal. A pessoa com maior quantidade de massa no segmento superior corporal eleva o centro de gravidade e, portanto, necessitam de uma base maior para evitar oscilações. As mulheres, normalmente, apresentam o centro de gravidade mais baixo que os

homens por uma característica morfológica, fato que, mais uma vez, afeta o equilíbrio corporal. As grávidas apresentam o centro de gravidade mais deslocado para frente e, para compensar, é preciso abrir as pernas ampliando a base para evitar os tombos. Estudos que envolvem a postura corporal estão intimamente relacionados com a compreensão e localização do centro de gravidade.

Nos esportes podemos apresentar situações em que o deslocamento do centro de gravidade é decisivo como, por exemplo, num golpe de judô, em que a “pegada” do adversário e o ponto de apoio para produzir o giro vai depender fortemente do conhecimento dos lutadores da localização deste ponto. A própria posição de equilíbrio de cada integrante para iniciar a luta, sempre com as pernas abertas e deslocadas, pressupõe o aumento da base para que o vetor peso esteja projetado em uma área maior, dificultando a tendência de giro em uma situação de ataque.

Pelos motivos descritos escolhemos articular um modelo de ensino para mudança conceitual baseado na teoria construtivista de Piaget para trabalhar e desenvolver o conceito de Centro de Gravidade com alunos dos ensinos Fundamental e Médio.

### **1.3 Objetivos**

#### *1.3.1 Objetivo Geral*

Desenvolver uma sequência didática para o entendimento do conceito de Centro Gravidade por meio de um modelo de ensino para mudanças conceituais, baseado na teoria construtivista de Piaget.

#### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Analisar a forma de abordagem do conceito de Centro de Gravidade em livros de Física do Ensino Médio e Superior.
- Propor e discutir um modelo cognitivo para mudanças conceituais em que o entendimento do conceito de Centro de Gravidade possa ser desenvolvido pelo aluno de forma progressiva e significativa.

- Elaborar uma sequência didática em que a estruturação e organização de experimentos didáticos ajudem o aluno a construir o conceito de Centro de Gravidade.
- Aplicar a sequência didática em uma turma regular do segundo ano do Ensino Médio.
- Analisar a ocorrência da evolução do conceito de Centro de Gravidade nos alunos.
- Avaliar os resultados obtidos e reestruturar a sequência didática de modo a apresentá-la de forma contextualizada para uso em aulas de Física do Ensino Médio.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

No próximo capítulo iremos apresentar o referencial teórico da dissertação, partindo de um estudo da forma de apresentação do conceito de Centro de Gravidade em livros de Física do Ensino Superior e Médio, contrapondo com outras publicações sobre o tema, em especial o livro *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca* (ASSIS, 2008). Na sequência faremos a descrição do modelo construtivista de Piaget que norteia o desenvolvimento e a forma de aplicação da sequência didática.

No Capítulo 3 iremos apresentar a metodologia do trabalho, da construção do projeto piloto à aplicação da sequência didática em sala de aula. No Capítulo 4 faremos a análise dos principais resultados obtidos. No último capítulo teceremos algumas considerações relevantes para a compreensão deste trabalho.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

#### 2.1. Equilíbrio Estático e Centro de Gravidade no ensino de Física

No dia a dia percebemos a importância do equilíbrio em nossas vidas, seja das pontes e grandes monumentos ao simples fato de caminhar. Da terra ao céu, o equilíbrio acontece de forma harmoniosa e bastante diversificada aos olhos da ciência, não existindo uma definição que dê conta de explicar todos os casos. É preciso sempre observar o que a natureza nos fala; pensar, questionar e aceitar que a realidade é sempre um novo paradigma em busca de outro melhor.

Arquimedes nos ensinou a maneira prática de determinar o centro de gravidade dos corpos em relação à superfície da Terra ao lançar os primeiros olhares em busca de respostas, como no questionamento “o que faz um objeto permanecer estável na presença de forças?”.

No livro *Arquimedes, o centro de Gravidade e a Lei da Alavanca*, de Assis (2008a), temos a tradução comentada do francês para o português da obra mais antiga de Arquimedes, *Sobre o Equilíbrio das Figuras Planas*, que permite conhecermos seus argumentos e demonstrações. Nos capítulos 8 e 9 é apresentada a definição matemática moderna do conceito de Centro de Gravidade, obtida a partir da lei da alavanca. Segundo Assis (2008b),

A definição do conceito de centro de gravidade é atribuída a Arquimedes (287 a.C. - 212 a.C.), embora este conceito não apareça definido explicitamente em nenhum de seus trabalhos ainda existentes. Por outro lado, Heron (primeiro século d.C.), Pappus (terceiro século d.C.) e Simplicio (sexto século d.C.), que tiveram acesso às obras de Arquimedes hoje perdidas, apresentam em seus trabalhos que chegaram até nós algumas informações sobre como Arquimedes pode ter definido este conceito, (HEATH, 1921, págs. 24, 302, 350-351 e 430), (HEATH, 2002, págs. clxxi-clxxii), (DIJKSTERHUIS, 1987, págs. 17, 47-48, 289-304, 315-316, 321-322 e 435-436), (ASSIS, 2008a, págs. 90-91) e (ASSIS, 2008b, págs. 69-74 e 97-105).

À frente, no Quadro1, apresentaremos as definições extraídas dessa obra. O olhar sutil e pragmático de Arquimedes nos rendeu um legado imprescindível à compreensão do equilíbrio de corpos. Neste trabalho nosso interesse é avaliar os objetos que estão em **Equilíbrio Estático**, ou seja, que não sofrem translações, nem rotações no sistema de referência no qual estão sendo avaliados. Para

corroborar vamos apresentar a definição das duas condições para a ocorrência de equilíbrio.

Saymon (1982, p. 188) apresenta a segunda lei de Newton para translação enunciada da seguinte maneira:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F}_{\text{ext}} \quad (1)$$

Este é o Teorema do Momento Linear para um sistema de partículas que estabelece que a taxa de variação do momento linear total no tempo é igual à força resultante externa total. O corolário é o teorema da conservação do Momento Linear, em que “Suponha que a força externa resultante que age sobre um sistema de partículas seja zero (o sistema seja isolado) e que nenhuma partícula entre ou saia do sistema (o sistema seja fechado)” (HALLIDAY, 2008, p. 231).

Fazendo  $\mathbf{F}_{\text{ext}} = 0$  temos:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = 0 \text{ (Equilíbrio de Forças) } \quad (2)$$

$$\mathbf{P} = \text{constante} \quad (3)$$

Saymon (1982) mostra que, para cada par de partículas que compõem o sistema, a interação entre elas pode ser avaliada por meio de um par de forças que obedecem a Lei da Ação e Reação. Assim, a soma de cada par de forças é igual a zero, fazendo com que a força total do sistema de partícula seja nula. Podemos dizer que a Terceira Lei de Newton é suficiente para garantir a conservação do momento linear. Para rotações, o análogo da Segunda Lei de Newton pode ser considerada como a lei fundamental da dinâmica das rotações, sendo definida como:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M}_{\text{ext}} \quad (4)$$

Se  $\mathbf{M}_{\text{ext}} = 0$ , temos que

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = 0 \quad (5) \quad \text{então} \quad \mathbf{L} = \text{constante} \quad (6)$$

$$\mathbf{L} = \text{constante} \text{ (Equilíbrio de Torques)}$$

Assim, para um corpo rígido estar em equilíbrio estático é necessário que a resultante das forças externas que atuam sobre o mesmo seja nula, assim como o torque externo resultante, em relação a qualquer ponto, também deve ser igual a zero.

O Centro de Gravidade é o principal elemento da nossa investigação e, portanto, vamos analisar alguns livros de Ensino Superior para termos ideia de como este conceito é discutido e de que maneira é transferido aos alunos. As duas condições apresentadas acima – o somatório dos torques ser igual a zero e o somatório das forças ser igual a zero – é a base dos livros de Física de Nível Superior que avaliamos nesse trabalho.

Um estudo comparativo realizado em Resnick e Halliday (2008), Young e Freedman (2009), Hewitt (2002), revelam elementos que justificam a necessidade de cuidar e refinar o conceito de Centro de Gravidade. Segundo Halliday e Resnick (2008, p.295) para um corpo rígido estar em equilíbrio devem ser obedecidas seis condições independentes, definidas pelo conjunto de Equações (7).

$$\begin{aligned} F_X &= F_{1X} + F_{2X} + \dots + F_{nX} = 0 \\ F_Y &= F_{1Y} + F_{2Y} + \dots + F_{nY} = 0 \\ F_Z &= F_{1Z} + F_{2Z} + \dots + F_{nZ} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

As Equações (8) representam a nulidade da soma dos componentes das forças segundo qualquer uma das três direções.

$$\begin{aligned} \tau_X &= \tau_{1X} + \tau_{2X} + \dots + \tau_{nX} = 0 \\ \tau_Y &= \tau_{1Y} + \tau_{2Y} + \dots + \tau_{nY} = 0 \\ \tau_Z &= \tau_{1Z} + \tau_{2Z} + \dots + \tau_{nZ} = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

As Equações (7) e (8) representam que a soma das componentes do torque que agem no corpo é nula na direção de qualquer um dos três eixos. Se o corpo rígido satisfaz as condições (7) e (8) é estabelecido o equilíbrio estático do mesmo. As condições de equilíbrio são apresentadas e, em seguida, os autores trazem uma descrição de centro de gravidade a partir da força gravitacional

A força gravitacional que age sobre um corpo é a soma vetorial das forças gravitacionais que agem sobre todos os elementos (átomos) do corpo. Em

vez de considerar todos esses elementos, podemos dizer que: A força gravitacional age efetivamente sobre um único ponto de um corpo, o chamado centro de gravidade (CG). Isto equivale a supor que o centro de gravidade coincide com o centro de massa. Lembre-se de que para um corpo de massa  $M$  a força é igual a  $M \cdot g$ , onde  $g$  é a aceleração que a força produziria se o corpo estivesse em queda livre (HALLIDAY e RESNICK, 2008, p.4).

Em seguida os autores fazem a demonstração supondo que a força gravitacional é constante e seguem, ao longo do capítulo, considerando que o centro de gravidade coincide com o centro de massa. Nessa apresentação do conceito de centro de gravidade, o aluno não é capaz de perceber nenhum tipo de distinção clara entre “centro de gravidade” e “centro de massa”. Acentua essa dificuldade a falta de exemplos e atividades práticas que pudessem levar o aluno a compreender a distinção dos conceitos.

Assis (2008b) fez a mesma análise no material de Halliday, Resnick e Walker (2002, p. 4-5) e acrescenta que “não fica claro na formulação destes autores o que é postulado, o que é resultado experimental e o que é definição”.

Hewitt (2002) apresenta o conceito de centro de massa e o conceito de centro de gravidade numa mesma seção. Para explorar o conceito de CM ele inicia a abordagem por meio do lançamento de um bastão de beisebol e explica que existe um movimento desordenado em torno de um ponto, o qual ele denomina de centro de massa. E acrescenta,

O centro de gravidade é um termo empregado popularmente para expressar o centro de massa. O centro de gravidade é simplesmente a posição média da distribuição de peso. Uma vez que peso e massa são proporcionais, o centro de gravidade e o centro de massa referem-se ao mesmo ponto do objeto (HEWITT, 2002, p.137-138).

Em nota de rodapé o autor explica que pode haver uma pequena diferença entre CM e CG quando o corpo for suficientemente grande, permitindo, portanto, que o valor da gravidade em partes desse corpo possa ser diferente. Se percebe que existe a tentativa de mostrar que os conceitos são diferentes, mas isso não é feito na prática, pois o aluno é levado a localizar o centro de gravidade de algumas figuras e o autor não apresenta nenhum exemplo prático que permita diferenciar a localização do centro de massa. Portanto, a distinção entre os conceitos não aparece. Na sequência, a localização do centro de massa não é mais considerada e passa a ser identificado em todas as figuras apenas como CG, induzindo o aluno a considerar conceitos diferentes como sendo equivalentes.

Um ponto positivo, aos nossos olhos, está na seção seguinte em que o autor apresenta a localização do centro de gravidade por meio do mesmo procedimento experimental usado por Arquimedes, assim apresentado:

Se uma linha vertical for traçada através do ponto de suspensão, o centro de gravidade estará em algum lugar sobre essa linha. Para determinar exatamente onde ele se encontra sobre essa linha, temos apenas que suspender o objeto por um outro ponto e traçar uma segunda linha vertical através do ponto de suspensão. O centro de gravidade estará na interseção dessas duas linhas (HEWITT, 2002, p.139)

Porém, no parágrafo seguinte, o autor inicia a frase dando ao CM a mesma definição apresentada ao CG, à saber, “O centro de massa de um objeto pode ser um ponto onde não existe massa alguma” (HEWITT, 2002, p. 139). Apesar do autor trazer a definição separada de centro de massa e de centro de gravidade, não fica claro para o aluno o limite de validade de um conceito e do outro, gerando dúvidas e confusões.

Young e Freedman, no capítulo intitulado “Equilíbrio e Elasticidade”, na seção 11.2, também apresentam uma definição de centro de gravidade coincidente com centro de massa, como podemos observar na citação seguinte

[...]sempre é possível calcular o torque do peso de um corpo supondo que a força total da gravidade esteja concentrada em um ponto **chamado centro de gravidade**. A aceleração devida à gravidade diminui com a altitude; porém, se pudermos desprezar essa variação ao longo da vertical do corpo, o centro de gravidade coincidirá com o seu centro de massa (YOUNG & FREEDMAN, 2009, p.356).

Esses autores haviam definido o centro de massa (CM) dos corpos no capítulo 8 e, somente no capítulo 11 apresentaram o conceito de (CG). O centro de massa existe, independente da ação da gravidade sobre o corpo e, neste momento, os autores trabalham com a ideia de que ao considerar a ação da gravidade, supondo constante em todas as partes do corpo, podemos considerar o (CM) equivalente ao (CG). Mais uma vez, sentimos um incômodo na maneira em que é conduzida a apresentação do conteúdo aos alunos, pois não fica claro que as duas condições para a ocorrência do equilíbrio estejam sendo avaliada para se afirmar a equivalência entre os pontos. Outra dificuldade que impõe um grau ainda maior de abstração a esta informação está na tentativa de explicar um conceito usando outro que ainda necessita ser refinado e bem apresentado aos leitores, que é o caso do torque.

Falar sobre a ação da gravidade sobre os corpos, supondo-a sempre constante a fim de facilitar as generalizações impõe restrições à compreensão e acaba fazendo com que o aluno aprenda o caso particular, sem ser levado a perceber a realidade para além desses exemplos. Professores do Ensino Médio reproduzem essas falas como crenças, atos de fé aos alunos e, de tanto repetir a mesma fala, o próprio professor passa acreditar no que está falando, não sentindo a necessidade de refletir para tentar modificar e, mesmo ainda, lembrar que se trata de um caso particular.

Assim como na definição anterior não é possível compreender as características particulares de cada definição, apenas tenta-se trazer o conceito pronto e fechado para que o aluno reescreva e memorize. Não é apresentada nenhuma tentativa por parte dos autores de relacionar os conceitos para assim permitir ao aluno a construção dos mesmos.

Complementar a este estudo, Assis (2008b) apresenta uma análise bastante criteriosa sobre alguns livros adotados no nível superior, como os de Halliday, Resnick e Walker (2002); Lucie (1980) e Tipler(1994), e os resultados estão em conformidade com o levantamento que fizemos nas literaturas aqui apresentadas.

As definições apresentadas nos livros didáticos divergem entre si. Poucos livros fazem um levantamento histórico sobre o surgimento do conceito do centro de gravidade, não mencionando sequer Arquimedes com relação a este ponto. Em geral eles chegam ao conceito a partir da mecânica newtoniana. Não há problemas em relação a isto, mas seria interessante que fosse feita uma análise crítica do tema. Alguns livros chegam até mesmo a tomar o centro de gravidade como sendo sinônimo do conceito de centro de massa. Mas isto está bem distante da formulação de Arquimedes. Não há problemas com este procedimento, desde que o tema seja tratado com o devido cuidado. (ASSIS, 2008b, fl.10)

Além da citação apresentada, reforçamos a falta de características de cada definição. A falta de elementos que não permite correlacioná-las, impossibilita o entendimento dos conceitos e cria-se uma grande confusão e a posterior rejeição ao assunto.

### *2.1.1. A evolução do conceito de centro de gravidade*

Segundo Assis (2008a), vários trabalhos de Arquimedes foram perdidos no tempo e parte dessas obras, em especial o conceito “Centro de Gravidade”, foram apresentadas nos trabalhos de alguns filósofos como Heron (10d.C – 70d.C),

Simplício (490-560) e Pappus (1865-1916), nos permitiram compreender a maneira que Arquimedes formulou o conceito de Centro de Gravidade. Esta definição aparece em obras posteriores de Arquimedes como se já tivesse sido definida anteriormente.

No Quadro 1 temos as definições de Centro de Gravidade de alguns autores que tiveram acesso às obras perdidas de Arquimedes.

**Quadro 1** - Definições do conceito de Centro de Gravidade

	Obra	Definição
Heron (século I d.c)	Mecânica	"O centro de gravidade ou de inclinação é um ponto tal que, quando o peso é dependurado por este ponto, ele fica dividido em duas porções equivalentes". [Her88, pág.93], citado por Assis, 2008a, p.126]
Pappus (século IV d.C)	Coleção Matemática	"Dizemos que o centro de gravidade de qualquer corpo é um certo ponto dentro desse corpo tal que, se for concebido que o corpo está suspenso por este ponto, o peso assim sustentado permanece em repouso e preserva sua posição original" [Pap82,Livro VIII, pág. 815] citado por Assis, 2008a, p.127)
Arquimedes	Sobre a Quadratura da Parábola	"Todo corpo, suspenso por qualquer ponto, assume um estado de equilíbrio tal que o ponto de suspensão e o centro de gravidade do corpo estejam ao longo de uma mesma linha vertical; pois esta proposição já foi demonstrada". [Arc02, pág 238], citado por Assis, 2008a, pág 123)
Simplício (século VI d.c)	<i>Sobre o Céu</i> de Aristóteles (384-322 a.C)	"O centro de gravidade é um certo ponto no corpo tal que, se o corpo for suspenso por uma linha ligada a este ponto, vai permanecer na sua posição sem se inclinar para qualquer direção" (citado por Assis, 2008a, p.128)
Assis (2008a)	Arquimedes, o Centro de Gravidade e a lei da Alavanca (2008)	"O centro de gravidade de um corpo rígido é um ponto tal que, se for concebido que o corpo está suspenso por este ponto, tendo liberdade para girar em todos os sentidos ao redor deste ponto, o corpo assim sustentado permanece em repouso e preserva sua posição original, qualquer que seja sua orientação inicial em relação à terra"

Fonte: Dados extraído de Assis (2008a, p.126-129). Elaborado pela autora.

É importante ressaltar que, para Arquimedes, o resultado apresentado no Quadro 1, na obra *Sobre a Quadratura da Parábola* não era a definição do Centro de

Gravidade. Segundo Assis (2008 a p.123), “Em vez disto, ele (Arquimedes) provou teoricamente este resultado utilizando uma definição prévia do que é o Centro de Gravidade de um corpo e também algum postulado que está perdido hoje em dia”.

Para o leitor deixaremos a maneira prática utilizada por Arquimedes no Quadro 1 para se determinar a localização do Centro de Gravidade e com as contribuições dos outros autores e de posse da contribuição histórica realizada por Assis (2008a), adotaremos neste trabalho a definição moderna do conceito feito por Assis (2008a, p. 90), conforme exposto no Quadro 1, pois ele considera ter sido dessa forma que Arquimedes tenha formulado a definição do Centro de Gravidade.

Neste trabalho estamos interessados em construir um conjunto de atividades experimentais que permita o aluno desenvolver o conceito de Centro de Gravidade, pois é desta maneira que acreditamos que Arquimedes tenha conseguido definir tal conceito. Percebemos nas definições apresentadas acima que algumas situações devem ser discutidas com mais cuidado para não levar à generalizações, sendo exatamente uma das principais necessidades que percebemos nos livros que foram analisados. Assis (2008a) apresenta uma explicação que deveria aparecer nos livros que analisamos, a saber:

O corpo que está exercendo a força gravitacional é como a terra, mas com o formato de uma maçã, com a maior distância entre quaisquer duas partículas desta terra-maçã sendo dada por  $r$ ; O corpo que está sofrendo a força gravitacional é como a lua, mas com o formato de uma banana, com a maior distância entre quaisquer duas partículas desta lua-banana sendo dada por  $R$ ; A distância entre uma partícula  $i$  qualquer desta terra e uma e uma partícula  $j$  qualquer desta lua sendo dada por  $d_{ij} = \sqrt{r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta}$ , com  $0 < \theta < \pi$ . Neste caso não vai existir um centro de gravidade único. Dependendo da orientação relativa entre a Lua-banana e a terra-maçã, vão existir linhas de equilíbrio distintas. Nestes casos o conceito de centro de gravidade perde seu significado. (ASSIS, 2008a, p. 93)

Portanto, as regiões em que a definição de CG apresentada por Assis (2008a) e por todos os autores que analisamos possui validade são as quais o corpo rígido de prova sofre a ação da força gravitacional constante e, portanto, o corpo precisa ser pequeno e estar nas proximidades da superfície da terra.

É importante ressaltar que a definição apresentada por Assis (2008a), no Quadro1, supre as nossas necessidades enquanto professores para compreendermos o conceito de Centro de Gravidade, porém não estamos interessados que o nosso aluno seja capaz de construir o mesmo conceito. O que importa, enquanto mediadores é saber qual o conceito que o aluno será capaz de construir ao passar por esta sequência didática. E, a partir desta informação, o

professor poderá reestruturar o processo, ou seja, equilibrar e desequilibrar na medida certa até que o objetivo final seja de fato estruturado.

Fizemos o procedimento descrito por Arquimedes nas atividades apresentadas no livro de Assis (2008a) e escolhemos algumas destas para compor a nossa sequência didática, na perspectiva de construir um conceito que possa ser ampliado de modo progressivo e sequencial de acordo com o interesse de cada professor e da necessidade de cada aluno.

## **2.2. Equilíbrio Estático e Centro de Gravidade em livros didáticos de Ensino Médio**

O livro didático é a principal ferramenta utilizada por professores e alunos na educação básica e serve como guia para a elaboração das aulas, resolução de exercícios e roteiro de estudos. O contato do estudante com o conteúdo da disciplina ocorre predominantemente através do livro didático. Neste trabalho escolhemos os autores: Ramalho, Nicolau e Toledo - *Os Fundamentos da Física I - Parte III*, na unidade G “Estática, Hidrostática e Hidrodinâmica”, capítulo 18, p. 422; Carron e Guimarães (2014, p.200); Adriana Benetti Marques Válio et al - *Ser Protagonista*, (2014, p. 208). A obra do GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física do estado de SP) apresenta a Mecânica em quatro blocos: no bloco 1, apresentam os conceitos de movimento e equilíbrio de forma lúdica, levando o aluno a classificar situações no dia a dia que envolvam movimento e equilíbrio, discutem a conservação do momento linear. No bloco 2, apresentam as leis de Newton e falam sobre a força da gravidade, citando a diferença entre peso e massa; no bloco 3, é falado de Trabalho e Energia. Ao discutir Potência, os autores apresentam alguns motores e explicam o seu funcionamento, em seguida apresentam as máquinas simples, como “facilitadoras de trabalho”, explicando ser possível trocar “força por distância” para economizar Trabalho; no último bloco, a astronomia é discutida ao longo de todos os capítulos. Este livro apesar de não ser tão utilizado nas escolas de Juiz de Fora, recentemente foi inserido entre as bibliografias sugeridas para o vestibular seriado da Universidade Federal de Juiz de Fora – PISM/UFJF.

Com exceção do GREF, os livros sempre trazem um capítulo destinado ao equilíbrio de pontos materiais e outro que abrange o equilíbrio dos corpos extensos. No primeiro caso, é tratado apenas o equilíbrio de translação, quando a resultante

das forças externas ao sistema é igual a zero. Já no segundo caso é que aparece o conceito “Torque” de uma força, também conhecido como “momento de uma força”. De acordo com Ramalho, Nicolau e Toledo (2007 p.438),

O momento de uma força  $F$ , em relação a um ponto, também denominado torque, é uma grandeza Física Vetorial.

E continua,

Vamos chamar de momento de uma força  $F$  aplicada num ponto  $P$ , em relação a um ponto  $O$ , ao produto da intensidade  $F$  da força pela distância  $d$  do ponto  $O$  à linha de ação da força.

$$M = F \cdot d$$

Nos livros analisados adota-se o sinal de positivo para rotações no sentido anti-horário e o sinal de negativo para rotações no sentido horário. Essa convenção é comum na maior parte dos livros didáticos do Ensino Médio. Após essa definição, aparece o conceito de equilíbrio dos corpos, considerando os movimentos de rotação e translação, ou seja, para um corpo estar em equilíbrio é necessário que:

- A resultante das forças externas seja nula.
- O somatório dos momentos das forças que atuam no sistema seja igual a zero.

No livro de Ramalho, Nicolau e Toledo (2007), o conceito de Centro de Gravidade e Centro de massa são destacados do texto didático, como se fossem apenas uma curiosidade e não parte do conteúdo.

O ponto de aplicação do peso de um corpo é denominado centro de gravidade. Podemos imaginar que, nesse ponto, concentra-se todo o peso do corpo.[...] O ponto no qual podemos concentrar toda a massa de um corpo é denominado centro de massa. Nos locais onde a aceleração da gravidade pode ser considerada constante, o centro de gravidade coincide com o centro de massa[...] (RAMALHO, NICOLAU E TOLEDO, 2007, p.438)

Em Carron e Guimarães (2006, p.233), o conceito de centro de massa é dado como “[...]um sistema constituído por vários pontos materiais pode ser representado por um único ponto material que lhe seja equivalente, o centro de massa do sistema”.

Já no livro *Ser Protagonista*, de Benetti et al (2014), encontramos a seguinte definição

[...] O centro de massa de um corpo, ou de um sistema de corpos, é um ponto no qual se considera que está concentrada toda a massa do corpo, ou sistema, de modo que, quando forças externas atuam sobre ele, tudo acontece como se a resultante fosse aplicada nesse ponto. Quando a força resultante é gravitacional, o centro de massa também é chamado de centro de gravidade (BENETTI et al, 2014, p.208).

É importante destacar que, nos livros didáticos analisados, é possível identificar as condições para se estabelecer o equilíbrio dos corpos rígidos (equilíbrio de translação e de rotação). O que não fica claro nos textos didáticos são os conceitos de centro de gravidade e de centro de massa, sendo que em alguns casos os dois conceitos são até mesmo confundidos. Há falta de atividades experimentais que pudessem orientar a discussão inicial e, até mesmo no final do capítulo, com o propósito de reforçar a teoria discutida, a dissociação das informações e o cultivo deliberado da polissemia, ao apresentar, por exemplo, a palavra equilíbrio estando inicialmente apenas condicionada ao somatório de forças igual a zero, o que cria um conceito na cabeça do aluno que, posteriormente, pode não ser ampliado e a falta de informações que pudessem valorizar as características de simetria. Um diferencial no livro do Ramalho et al (2007) é a parte que contém as atividades experimentais que podem ser utilizadas pelos docentes para permitir que o aluno consiga determinar a localização do centro de gravidade. Em todos os livros avaliados percebemos que a construção do conceito do jeito que Arquimedes formulou não é aproveitada em sala, os alunos não são instigados a descobrir, a pensar, a construir e a localizar o centro de gravidade.

Assis (2008b) também investigou alguns livros de Ensino Médio, como Ferraro e Soares (2003), Sampaio e Calçada (2003), Paraná (2004) e Máximo e Alvarenga (2006). Nesse estudo ele destaca as definições apresentadas por esses autores da forma como apresentamos no Quadro 2.

**Quadro 2 - Definições de Centro de Gravidade em Livros Didáticos de Física do EM**

Autores	Definições
Ferraro e Soares (2003 pág.383)	“O ponto de aplicação do peso de um corpo extenso é chamado centro de gravidade (CG). Para os corpos homogêneos e que apresentam simetria, o centro de gravidade coincide com o centro geométrico”.
Paraná (2004 pág104)	“Centro de gravidade é o ponto em que está concentrado o peso de um corpo”
Sampaio e Calçada (2003 pág.149)	“O centro de gravidade (CG) de um corpo é o ponto onde podemos supor aplicado o seu peso do ponto de vista dos efeitos de rotação”
Máximo e Alvarenga (2006 pag.131-143)	“Já sabemos que o peso de um corpo é o resultado das ações atrativas da Terra sobre ele. Quando se trata de uma partícula, essa ação será representada por uma força aplicada na partícula. Mas, se as dimensões do

	<p>corpo não forem desprezíveis, as ações atrativas da Terra se farão sobre cada partícula, isto é, essas ações constituirão um sistema de forças praticamente paralelas, aplicadas em partículas diferentes. O peso <math>P</math> do corpo será a resultante desse sistema de forças e o ponto em que podemos supor que essa resultante está sendo aplicada é denominado centro de gravidade do corpo”.</p>
--	---

Fonte: Dados extraídos de Assis (2008b). Elaborado pela autora.

Já citamos que a lei de Arquimedes é de origem experimental. Causa incomodo ao pensar como é possível ensinar se a essência da descoberta é negada ao aluno durante o processo de aprendizagem. O que o professor espera que o aluno aprenda? Sem atividade experimental percebemos uma grande lacuna entre o objetivo pretendido e a prática pedagógica em ação. Ao unificar os dois conceitos e, pior, fornecê-los sem qualquer atividade experimental não acrescentará mudanças significativas na estrutura cognitiva do aluno e tal informação pode até ser memorizada, mas não será compreendida.

O Quadro 2 apresenta as definições de cada livro avaliado por Assis (2008b) e podemos concluir que os conceitos de centro de gravidade e de centro de massa estão sempre misturados, sem o devido cuidado de apresentar ao leitor a informação de que são conceitos diferentes, reforçando as observações e conclusões a cerca desta problemática. Assim, percebemos que existe uma grande dificuldade por parte dos autores, tanto os que escrevem para o Ensino Médio como para o Nível Superior, em discutir o conceito de centro de gravidade e centro de massa de maneira apropriada.

Neste trabalho, apresentamos uma sequência de quatro atividades experimentais, norteadas pelas etapas da tríade dialética de Piaget (intra, inter e trans-objetal) com o intuito de levar o aluno a desenvolver o conceito de Centro de Gravidade. Para isso, trilhamos um caminho semelhante àquele seguido por Arquimedes na expectativa de avaliar, a partir da atividade prática, qual o entendimento que aluno pode vir a ter ao perpassar por essas atividades. Dessa forma, poderemos avaliar se essas atividades, organizadas, planejadas e aplicadas por meio de uma postura mediadora do professor, podem levar o aluno a construir algum conceito a respeito do CG, e que conceito seria este.

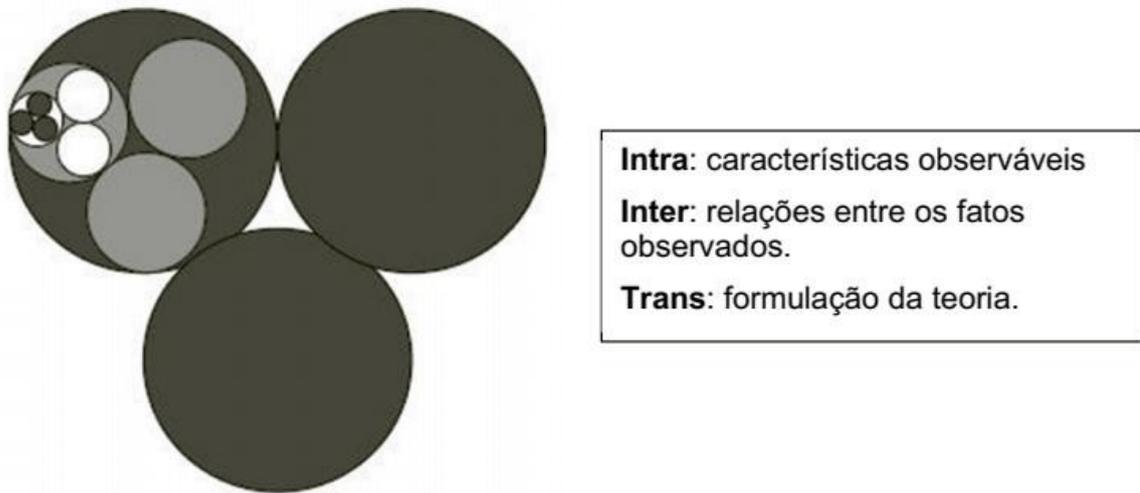
### 2.3 A teoria de Piaget sobre mudança conceitual

A Teoria de Piaget nos convida observar a relação do sujeito com o objeto e, a partir dessa interação, criar possibilidades de confrontar o conhecimento prévio do aluno com a realidade observável. Para isso, a Psicologia Cognitiva buscou identificar o modo como as crianças pensam e os fatores que determinam ou favorecem as mudanças ao longo de seu desenvolvimento e no curso da aprendizagem escolar. Esse processo é estruturado e permite ao aluno construir estruturas complexas em níveis cada vez mais elevados, produzidos em momentos de instabilidades e nas flutuações das ideias. No processo o mediador tenta se aproximar das concepções prévias do sujeito provocando a desequilibração das ideias. Nesse momento de instabilidade, novos elementos são oferecidos, permitindo que a mudança conceitual possa ocorrer a partir da reorganização e equilíbrio de novas ideias.

Dentro dessa lógica do desenvolvimento do processo de aprendizagem, Piaget e Garcia (1987 apud AGUIAR, 1999, p.76) distinguem três etapas sucessivas, assim denominadas: “operatória”, “operações concretas” e “operações hipotético-dedutivas”. Estas etapas correspondem sucessivamente às fases “intra”, “inter” e “trans”, formando a tríade dialética da construção de conhecimentos. A tríade dialética faz parte de um processo contínuo na construção do conhecimento: as estruturas atingidas no primeiro nível “intra” dão lugar às análises do nível “inter”, e estas, por sua vez, à produção da estrutura “trans”. Os níveis de conhecimento correspondem sucessivamente às seguintes perguntas em relação ao objeto da aprendizagem: “o que é isso?”, “como funciona?” e “como se explica?”.

A primeira pergunta remete à ontologia, ou seja, à constituição e natureza do objeto; a segunda questão aponta para a fenomenologia, isto é, para a descrição dos processos em termos das variáveis intervenientes e suas transformações; a última remete à causalidade, ao movimento que conduz o sujeito a “explicar” o real, partindo de sistemas de composições necessárias. Todas essas indagações subordinam-se à outra pergunta, ligada a aspectos motivacionais que orientam e dirigem nossas condutas: “por que / para que eu devo saber isso?”. A Figura 1 representa esse modelo fractal e leva o leitor a perceber que cada tríade consolidada passa a ser um subconjunto de uma nova etapa intra que comporta um grau ainda maior de observações e características.

**Figura 1** - Modelo fractal das etapas Intra, Inter e Trans.



Fonte: Menezes (1997)

Para este estudo organizamos uma sequência didática orientada pela tríade dialética de Piaget organizada em dois níveis, orientada pelas seguintes atividades:

Nível I

- i) Comparação do Centro de Gravidade das figuras planas - *O Centro de Gravidade em figuras planas regulares* (O círculo, o retângulo e o triângulo).
- ii) O Centro de Gravidade de figura plana não regular - *O Boneco Equilibrista (sem a massinha de modelar)*.

Nível II

- iii) Comparação do Centro de Gravidade da figura plana não regular, o *boneco equilibrista (com a massinha de modelar)* e a *figura plana regular triângulo*.
- iv) Comparação entre o Centro de Gravidade de figura plana regular, boneco equilibrista, com uma figura tridimensional (joaninha teimosa).

O Quadro 3 representa as quatro atividades que foram escolhidas com o propósito de desenvolver no aluno o conceito de centro de gravidade.

**Quadro 3** - Relação das atividades propostas com as etapas Intra, Inter e Trans

Níveis	INTRA	INTER	TRANS
	Características	Relações	Transformações
O Círculo, Retângulo e o Triângulo I.	*Dobrar, traçar diagonais para localizar o centro de gravidade.	*Círculo/Retângulo. *Retângulo/Triângulo. *Círculo/Triângulo.	*O centro de gravidade não é o centro geométrico das figuras planas.

	*Simetria		
Boneco Equilibrista I	*Dobrar, traçar diagonais para localizar o centro de gravidade. *Simetria.	*massinha de modelar / nova posição de equilíbrio. *Existe mais de um centro de gravidade no corpo?	*O centro de gravidade depende da distribuição de massa.
Boneco equilibrista e o triângulo II	*distribuição de massa/distância *Área/distância	*massinha de modelar no boneco equilibrista /corpo humano.	*O centro de gravidade não é o centro geométrico. Depende da distribuição de massa e da distância ao ponto de apoio do suporte.
Joaninha teimosa e o boneco equilibrista II	*Por que a joaninha dá cambalhotas ao ser posicionada de cabeça para baixo? *Em que parte do corpo está o centro de gravidade da joaninha?	*joaninha/Triângulo *Joaninha/ boneco equilibrista	*A localização do suporte em relação ao centro de gravidade determina o tipo de equilíbrio que o corpo pode apresentar.

Fonte: Autora.

Acreditamos que um modelo de ensino assentado sobre a teoria da equilibração e a Tríade de Piaget permite estruturar o processo de aprendizagem de modo a reconhecer e valorizar o progresso dos estudantes e as dificuldades que eles encontram frente ao conhecimento científico abrindo a possibilidade de superar o confinamento do construtivismo pedagógico às séries iniciais do ensino básico, favorecendo a ampliação do conhecimento de forma sequencial e progressiva.

## Capítulo 3 Metodologia

### 3.1 Aplicações da Sequência Didática em Sala de Aula

A sequência didática é uma ferramenta educacional importante para professores e muito se discute sobre esse recurso na pesquisa em ensino de Física. Como exemplo, podemos citar o livro *Pesquisas em Ensino de Física* (NARDI, 1997) e o artigo de Moreira (2004) que nos levam há uma reflexão profunda sobre como ensinar Física. Pude ler vários desses artigos enquanto era bolsista do PIBID. Porém, no Mestrado Profissional a situação foi diferente. A necessidade de criação de um produto educacional permitiu não só o aprofundamento teórico sobre o assunto, mas também a aplicação do conhecimento na prática, apresentando-se como uma alternativa capaz de transformar gradativamente a realidade das minhas aulas de Física na Educação Básica.

Assim, produzir e organizar uma sequência didática foi algo instigante e desafiador, pois não se tratava apenas de um conjunto aleatório de perguntas em busca de respostas prontas e superficiais dos alunos, que, geralmente, respondem aquilo que queremos ouvir. Antes da elaboração da sequência, fizemos um levantamento sobre o tópico da Física que iríamos abordar. Escolhemos Centro de Gravidade por ser um assunto interessante, mas pouco explorado em aulas de Física. Para isso, coletamos informações com colegas do mestrado e outros professores. Essas informações foram importantes para definirmos o número de aulas necessárias para a realização da sequência didática e a quantidade de questões que iriam compô-la. Tomamos o cuidado para não extrapolar a realidade da maioria das escolas, que apresentam poucas aulas de Física semanais e procuramos focar as atividades num modelo de ensino que pudesse promover a mudança conceitual nos alunos de modo progressivo e sequencial.

Também fizemos uma análise bastante criteriosa sobre como os principais livros adotados na cidade e região apresentam o tema Centro de Gravidade, incluindo escolas públicas e particulares. Confrontamos com o conteúdo científico ensinado nos centros superiores de educação e com a proposta de Assis (2008b).

Para dar início à elaboração da sequência didática fizemos todas as atividades proposta na unidade II do livro *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a*

*Lei da Alavanca* (ASSIS, 2008a). A partir desse primeiro estudo começamos a definir quais atividades iriam compor o nosso roteiro e em que ordem elas iriam aparecer.

Essas escolhas foram guiadas pelo modelo fractal da proposta de mudança conceitual de Piaget (1987), baseada nas tríades dialéticas definidas pelas etapas: Intra, Inter e trans-objetal. Nesse processo de construção do conhecimento, as intervenções foram conduzidas por três questões fundamentais: *O que é isso? Como isso funciona? e Como podemos explicar?*. Tomamos o cuidado em desenvolver a condução da discussão sempre dessa forma para não induzir as respostas dos alunos.

O Quadro 4 apresenta a ideia inicial do trabalho, que era deixar os alunos à vontade durante a realização das atividades experimentais que foram selecionadas de acordo com a metodologia cognitivista construtivista que norteia o desenvolvimento e aplicação dessas atividades.

**Quadro 4** - Organização dos níveis e etapas das atividades

Níveis	Intra	Inter	Trans
	Características	Relações	Transformações
(I) <i>Círculo, Retângulo e Triângulo</i>	Círculo e Retângulo: Simetria Dobraduras, traçar diagonais.  Triângulo Simetria bilateral Existem 4 pontos diferentes.	Círculo / retângulo Possuem centro geométrico  Triângulo / Círculo O triângulo não possui centro geométrico.	O centro geométrico das figuras planas regulares é também o centro de gravidade.  Com o triângulo O centro geométrico nem sempre será o centro de gravidade.
<i>O Boneco Equilibrista</i>	Encontrar o ponto central do boneco no molde de sulfite. Possui simetria bilateral. Dobrar mão com mão e pé com pé. Traçar diagonais. Braços mais compridos Pernas mais curtas.	Transpor essa marcação para o papel cartão.  Usar o suporte e testar se a marcação coincide com a posição de equilíbrio.	O ponto que permite o boneco permanecer em repouso sobre o palito não é o ponto central da figura.
(II) <i>Boneco Equilibrista com massinha de modelar</i>	Distribuir a massinha no boneco para sentá-lo no palito Distribuir a massinha para que o boneco permaneça de cabeça para baixo. Testar a posição de equilíbrio anterior com a massinha adicionada ao boneco.	O boneco possui distribuição irregular de massa Posições diferentes de equilíbrio. Equilíbrio estável, instável e indiferente.	O centro de gravidade não é centro geométrico das figuras. E a posição que permite o corpo permanecer em equilíbrio depende da distribuição de massa no corpo, assim como de sua geometria.

<i>Boneco Equilibrista e o triângulo</i>	Semelhanças e diferenças entre o Triângulo e o Boneco equilibrista. Simetria A localização do centro de gravidade em cada figura. A localização do baricentro na região de maior área e, portanto, com menor distância, a 1/3 da altura do triângulo. O Boneco possui mais massa próxima a cabeça que dos pés.	Comparar o triângulo e o boneco com o corpo humano Determinar o centro de gravidade no aluno alto e forte. Determinar o centro de gravidade na aluna baixa e com os quadris mais largos.	O centro de gravidade nem sempre será o centro geométrico das figuras. A localização desse ponto depende da distribuição de massa do corpo e da distância, sendo, portanto, o ponto que permite a figura permanecer em repouso ao ser suspensa através dele.
<i>Boneco equilibrista e a joaninha teimosa</i>	Geometria espacial da joaninha. Geometria plana do boneco equilibrista. A localização de centro de gravidade (ponto) no boneco. A determinação de um lugar geométrico (Circunferência) como sendo o centro de gravidade na joaninha teimosa. A distribuição irregular de massa na joaninha causada pela chumbada.	Relacionar as cambalhotas com os tipos de equilíbrio Estável, instável e indiferente. Discutir sobre o significado da palavra “centro”. Recortar o centro do círculo e discutir a localização do Centro de gravidade.	Perceber que o centro de gravidade não é sempre o centro geométrico de figuras planas e que a distribuição de massa, a distância, a área e a geometria determinam a localização desse conceito, que optamos por não chamar de centro por perceber que tal nomenclatura é restritiva.

Fonte: Autora.

A primeira atividade envolve a determinação do Centro de Gravidade a partir das figuras planas regulares (círculo, retângulo e triângulo). Na primeira etapa dessa atividade, os alunos deveriam construir o conceito de Centro de Gravidade a partir do centro geométrico do círculo e do retângulo; na etapa seguinte, seria entregue o triângulo para que eles pudessem fazer comparações e repensar o conceito de Centro de Gravidade.

Na segunda atividade os alunos devem determinar o Centro de Gravidade de uma figura plana não regular – O boneco equilibrista. Nessa atividade, os alunos seriam desafiados a localizar o centro da figura através de elementos geométricos e deveriam comparar essa marcação com a posição que o boneco ficasse em equilíbrio sobre o suporte. A seguir, os alunos construiriam o conceito de Centro de Gravidade e iriam aprender a localizar o Centro de Gravidade do boneco equilibrista através da construção do fio de prumo. No segundo momento dessa atividade

entregaríamos a massinha de modelar e os alunos repensariam o conceito de Centro de Gravidade a partir da distribuição da massinha no boneco equilibrista.

Na terceira atividade os alunos devem construir o conceito de Centro de Gravidade a partir da comparação entre o Boneco Equilibrista e o triângulo. No primeiro momento dessa atividade entregaríamos a massinha de modelar e os alunos repensariam o conceito de centro de gravidade a partir da distribuição da massinha no boneco equilibrista e, em seguida, comparariam a localização do Centro de Gravidade no triângulo que se encontra no baricentro da figura, região com a maior área e, portanto, a  $1/3$  da altura da figura com o boneco equilibrista com mais massa próxima a cabeça e, portanto, com os braços mais longos que as pernas (região de menor massa). No segundo momento dessa atividade convidaríamos dois alunos, um menino e uma menina, para participarem de algumas brincadeiras envolvendo o equilíbrio do corpo humano, confrontando as observações do centro de gravidade no triângulo e no boneco equilibrista com o Centro de Gravidade no corpo humano.

A quarta e última atividade envolve a comparação entre o Centro de Gravidade do Boneco equilibrista e a joaninha teimosa. Nessa atividade, os alunos foram levados a extrapolar os limites do plano para o espaço tridimensional e a relação entre massa, distância e geometria espacial aparece na ampliação do conceito de Centro de Gravidade que evoluiu gradativamente ao longo das três atividades anteriores e a própria palavra “centro” foi repensada ao recortarmos o centro do círculo, transformando-o em uma arruela.

O objetivo principal dessa sequência de atividades era permitir que aluno fosse capaz de construir o conceito de Centro de Gravidade numa perspectiva metodológica construtivista e, para isso, fez-se necessário modificar a maneira de formular perguntas, tomando o cuidado para não induzir respostas. Por esse motivo, inicialmente pensamos em um conjunto de perguntas para inseri-los no contexto da investigação em sala

## 3.2 Aplicando a Sequência Didática

### 3.2.1 – Aplicação da Sequência Didática em Sala de aula

No contexto de sala de aula a participação dos alunos, o conhecimento prévio de cada um, a motivação, o interesse, a situação desafiadora do momento conduziu o desenvolvimento das aulas. As intervenções foram sendo feitas à medida em que os alunos faziam novas perguntas. O nosso papel durante a realização da aula era apenas de provocar os alunos, de modo a proporcionar o processo de equilíbrio e desequilíbrio. Não estávamos preocupados em responder às perguntas, mas em fazer com que eles pudessem refletir sobre seus próprios questionamentos na construção do conhecimento.

Antes de aplicar a sequência didática final, que aparece no Apêndice A deste trabalho, fizemos um estudo piloto em outra escola particular da cidade de Juiz de Fora. Essa aplicação foi feita em uma turma de 9º ano, com idades entre 12,13 e 14 anos, em um total de 33 alunos. E em uma turma de 2º ano, com 31 alunos em idades entre 16 e 17 anos, que tinham aulas específicas para o ENEM no contra turno escolar. Atuei como professora regente em ambas durante o ano letivo.

Na turma de 9º ano do Ensino Fundamental não aplicamos a quarta atividade. As outras três foram realizadas em apenas duas aulas em dias diferentes, pois na semana só temos duas aulas de 50 minutos e a proposta curricular precisava garantir que a aula teórica acontecesse em concomitância com a aula prática, ministrada por outro professor em outro dia. Apesar da redução no tempo, conseguimos perceber que estávamos no caminho certo.

Durante as aulas é comum vários problemas com indisciplina, atenção e desinteresse que são fatores que apontam algumas das dificuldades enfrentadas durante as aulas. Porém, com a aplicação do estudo piloto, a grande maioria dos alunos apresentou comportamentos diferentes, a sintonia entre eles foi algo que chamou a atenção. E a maneira ingênua de expressarem seus pensamentos, colocava à tona o conhecimento prévio, permitindo ajustes em nossas intervenções.

Era o primeiro ano que esses alunos estavam tendo o contato com a Física e a preocupação da escola era que eles passassem por esse primeiro contato sem traumas. A Física deveria ser trabalhada inserindo-os no contexto científico, mas sem grandes exigências conceituais. Dessa forma, a aplicação desse estudo piloto

trouxe esse ensino de forma muito natural e percebíamos o entendimento deles através da evolução nas falas, dos olhares e das atitudes, algumas vezes demonstraram entendimentos além do esperado e faziam comparações sem medo de errar, queriam ter certezas de suas ideias e que, de fato, estavam certos porque daquela maneira percebiam a natureza.

O objetivo deste trabalho era de construir a sequência de atividades para alunos do Ensino Médio. Sendo assim, a aplicação no Ensino Fundamental foi apenas à título de verificação. Na turma de segundo ano da mesma escola, com total de 31 alunos, não tínhamos muito tempo já que as aulas eram mais reduzidas (45 min), e os alunos eram divididos, sendo que em uma semana 15 alunos assistiam aula teórica e os outros 16 assistiam laboratório, invertendo na semana seguinte. Assim, o encontro com o mesmo grupo de alunos só acontecia a cada 15 dias.

Naquele bimestre letivo teríamos quatro encontros, sem contar os feriados e recessos que aconteceriam, então não foi possível aplicar a sequência do jeito que havíamos planejado. Escolhemos trabalhar apenas a atividade 3 – O Centro de Gravidade a partir da comparação entre o Boneco Equilibrista e o Triângulo; e a atividade 4 – O Centro de Gravidade do Boneco equilibrista e a Joanhinha Teimosa. Os alunos não apresentavam interesse pelas aulas anteriores, com temas para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), principalmente pelo horário por ser no contraturno, logo após o almoço. Era comum vê-los dormindo, de cabeça baixa ou então desatentos. Eles apenas compareciam as aulas porque a frequência era pontuada. Esse contraturno era desanimador tanto para os alunos como para os professores que, diante do desinteresse dos alunos, acabavam perdendo o entusiasmo, o que não acontecia apenas nas aulas de Física. Durante as conversas com os outros professores era possível constatar que compartilhávamos do mesmo problema.

No entanto, com a aplicação das duas atividades o resultado foi diferente. Os alunos participaram, fizeram perguntas e se viram capazes de compreender e construir significados, pensando a Física além dos livros, do quadro e da fala do professor. Nossa ação, enquanto professores, foi apenas dar o que acreditávamos ser negado durante as aulas comuns de Física, que era a oportunidade do aluno se desenvolver, pensar para modificar a sua própria estrutura cognitiva.

Todas as aulas foram gravadas e isso permitiu ajustes nas intervenções, mudando a ordem, por exemplo, da entrega do material, inserindo novas perguntas, modificando perguntas para não induzir o aluno a algum entendimento que não fosse o elaborado por cada um deles e, por fim, na seleção final das perguntas que formam a sequência didática desse trabalho.

### *3.2.2 Sujeitos da Pesquisa*

A aplicação final da sequência didática foi realizada em uma escola particular localizada no município de Três Rios/RJ, onde, inicialmente, levamos a ideia do nosso trabalho para a direção da escola e pedimos autorização para aplicarmos, nas últimas aulas no final do segundo bimestre de 2017, a sequência de atividades. A direção da escola valoriza novas ideias, incentiva estratégias diferenciadas e investe na formação dos seus alunos. Confiança que nos proporcionou desenvolver o trabalho com muita satisfação, alegria e entusiasmo.

Nessa escola sou professora do 2º segundo ano do Ensino médio, tenho duas turmas, um total de 85 alunos com idades entre 16 e 17 anos, e o perfil desses alunos é bastante diversificado. No primeiro dia de aula tenho o costume de fazer uma dinâmica em grupos para conhecê-los um pouco melhor e, nessa brincadeira, temos um momento onde cada um deles fala sobre suas expectativas futuras. Não foram poucos os que citaram a FUVEST, a PUC, a Carreira Militar como sonhos que desejavam realizar com a ajuda dos professores da escola, mas a grande maioria também participa do programa de vestibular seriado da UFJF, como acontece no caso dos estudantes que habitam Juiz de Fora. Todavia, a escola não segue o Programa de Ingresso Seletivo Misto (PISM), fazendo com que esses alunos estudem outros conteúdos além dos que são cobrados nesse processo seletivo. A escola também acolhe alguns alunos com a concessão de bolsas de estudos, e não são poucos os que não gostam de exatas e que se dizem ser de humanas.

Os 85 alunos foram divididos em duas turmas, A e B. No segundo bimestre, a turma A estava com 42 alunos enquanto a turma B tinha 43 alunos. A escola trabalha com uma divisão entre seus alunos, segundo critérios de notas. Assim, os alunos com as maiores notas ficam na sala A, enquanto os alunos que não atingem

a média permanecem na sala B. É uma maneira, segundo a escola, de forçar os alunos a estudarem muito.

Esse critério parece ser muito bem esclarecido entre os alunos e os que ficam na sala B não recebem nenhum tratamento diferenciado por parte dos professores: fazem a mesma prova da sala A e possuem os mesmos professores. É apenas uma maneira, segundo a escola, de fazer com que todos se dediquem ao máximo. Cada bimestre a secretaria faz o levantamento e fornece uma nova chamada trocando os alunos de sala. A filosofia da separação por notas, apresenta o entendimento que muitas das vezes não vai bastar ser dedicado e ter boa nota, eles serão muitos para apenas uma vaga, então é preciso que sejam os melhores.

Essa troca de sala, às vezes, faz muito bem para alguns alunos que estavam com a autoestima comprometida e a expectativa da mudança cria um comportamento diferente entre os alunos, mas muito preocupa o aluno que está tentando e não está conseguindo a nota desejada. O permanecer na sala B pode ser um obstáculo para que o aluno se veja capaz de transformar, relacionar e conseguir construir qualquer conceito. Diante dessa situação e pelo fato de termos dois professores de Física na mesma turma, conseguimos dividir os conteúdos que seriam trabalhados naquele bimestre e acertar o planejamento. Optamos por aplicar a sequência didática final nessas duas turmas, nos mesmos dias e em iguais condições e esse conjunto de atividades não foi pontuado.

Inicialmente, os 42 alunos da turma A foram divididos em 7 grupos com 6 pessoas cada e cada integrante do grupo recebeu o seu material individual. Na turma B, com 43 alunos, dividimos da mesma forma, 7 grupos com 6 alunos sendo que um grupo ficou com 7 alunos.

Ao todo, gastamos 8 aulas de 50 min para aplicarmos as quatro atividades, desenvolvidas em quatro semanas consecutivas, do dia 16/06/2017 até o dia 07/07/2017.

*Atividade 01: O centro de gravidade a partir das figuras planas regulares (Círculo, retângulo e triângulo)*

#### **Material utilizado**

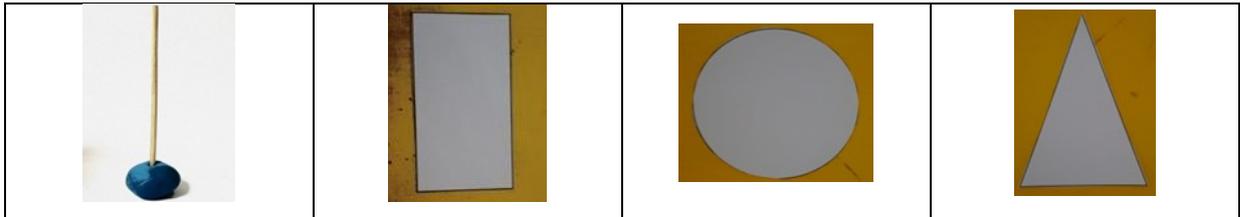
- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do círculo, retângulo e do triângulo.
- Molde no papel Cartão, do círculo, retângulo e do triângulo.

- Massinha de modelar para ser usada como base no suporte.

### Etapa 1

1.a Entregamos o molde no papel sulfite do retângulo e do círculo e os alunos tentaram localizar o centro geométrico das figuras.

**Figura 2-** Material utilizado em sala de aula



Fonte: autora

1.b Entregamos o suporte (palito de churrasco) e o molde no papel cartão e os alunos tentaram equilibrar a figura para comparar o ponto de equilíbrio com a marcação anterior.

1.c Explicações das observações.

1.d Os alunos construíram o primeiro conceito de Centro de Gravidade.

### Etapa 2

2.a Entregamos o molde no sulfite do triângulo e eles procederam conforme o item 1.a

2.b Entregamos o molde no papel cartão do triângulo e eles procederam conforme o item 1.b

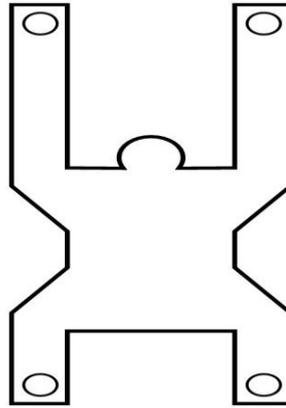
2.c Comparamos as observações do item 1.c com as observações de agora, no caso do triângulo.

2.d Os alunos reformularam a definição 1.d

*Atividade 02: O centro de gravidade de figura plana não regular- O Boneco Equilibrista.*

### Material utilizado

- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Massinha de modelar.

**Figura 3 - Boneco Equilibrista**

Fonte: Assis (2008a, p.100)

### **Etapa 3**

3.a Entregamos o molde no papel sulfite do boneco equilibrista e o suporte. Os alunos tentaram localizar o centro geométrico da figura de forma geométrica, dobraram, riscaram e traçaram diagonais.

3.b Entregamos o molde do boneco no papel cartão, idêntico ao anterior e pedimos que os alunos encontrassem, com o suporte, o ponto que o boneco ficasse em equilíbrio. Depois que deixassem o boneco sentado no suporte e também de cabeça para baixo.

3.c Os alunos verificaram se a marcação feita inicialmente, no item 3.a, era a mesma que deixava o boneco em equilíbrio no item 3.b ao ser abandonado do repouso.

3.d Sínteses das observações

3.e Determinação do centro de gravidade através da construção do fio de prumo.

3.f Os alunos transformaram o conceito de centro de gravidade já reformulado no item 2.d.

### ○ **Etapa 4**

4.a Entregamos a massinha de modelar.

4.b Com o auxílio da massinha, os alunos tentariam colocar o boneco sentado no palito e de cabeça para baixo, conforme fizeram no item 3.b

4.c Buscaram pela localização do centro de gravidade do boneco na presença da massinha.

4.d Reformularam o conceito de centro de gravidade a partir das novas observações.

*Atividade 03: O centro de gravidade de figura plana não regular- O Boneco Equilibrista e a figura regular Triângulo.*

### **Material utilizado**

- Palito de churrasco.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do triângulo.
- Massinha de modelar

**Figura 4** - materiais construídos durante a aula



Fonte: Autora

4.e Compararam as observações do item 3.b com o caso do triângulo que possui o centro de gravidade localizado no baricentro, situado na região de maior área do triângulo a  $1/3$  da altura da figura.

4.f Convidamos dois alunos para participarem de uma brincadeira, um aluno alto e forte e uma aluna baixa e com os quadris mais largos, na frente dos demais colegas. Perguntamos para a turma onde estava a localização do centro de gravidade em cada um dos alunos. A seguir, medimos a distância dos braços e das pernas desses alunos, estando eles com os braços esticados passando por cima da cabeça, em relação à suposta localização do centro de gravidade.

4.g Sínteses da discussão.

4.h Os alunos fizeram a reinterpretação do conceito, ampliando a definição de centro de gravidade que aparece no item 3.f.

*Atividade 04: O centro de gravidade de figura plana regular, Boneco equilibrista, com uma figura plana Tridimensional (joaninha teimosa).*

### Material utilizado

- Palito de churrasco
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Joaninha Teimosa
- Semiesfera de isopor, pequena.
- Bexiga vermelha para revestimento
- Canetinha preta para fazer as bolinhas, olhos e boca.
- Chumbada
- Círculo no molde de cartão (opcional).
- Círculo no molde sulfite

**Figura 5** - Joaninha teimosa e o Boneco Equilibrista



Fonte: Autora

### ○ **Etapa 5**

Inicialmente não entregamos aos alunos a joaninha teimosa, apenas a mostramos e começamos a questioná-los.

5.a Onde está o centro de gravidade dessa joaninha? Que a princípio estava apoiada com a “barriga” sobre uma mesa no meio da sala.

5.b A seguir colocamos ela com as pernas para cima e deixamos que ela girasse, dando uma cambalhota sobre a mesa.

5.c Perguntamos se o comportamento observado modificava a ideia que eles tinham a respeito da localização do centro de gravidade.

5.d Entregamos a joaninha teimosa e o suporte. Eles verificaram que ela estava com um lado mais “pesado” que o outro. Pedimos que eles localizassem o “lugar” que pudesse fazer a joaninha ficar em repouso ao ser apoiada sobre o palito.

5.e Após encontrarem esse “lugar” na joaninha, estando próxima a região de maior massa, comparamos esse resultado com a situação de equilíbrio do boneco equilibrista ao ficar sentado no palito com as massinhas presas nos “pés”.

5.f Sínteses das observações.

5.g Discutimos se a palavra “centro” é uma boa nomenclatura para o lugar que, ao ser apoiado, o corpo tende a permanecer em repouso. Recortamos o centro do círculo, transformando-o em uma arruela, e buscamos pelo lugar geométrico que permitiu o corpo não girar ao ser abandonado do repouso sobre o suporte.

5.h Os alunos compararam, transformaram e reconstruíram o conceito de centro de gravidade que apresentaram no item 4.e.

### **3.3 Entendendo o modelo Fractal das etapas na Atividade realizada**

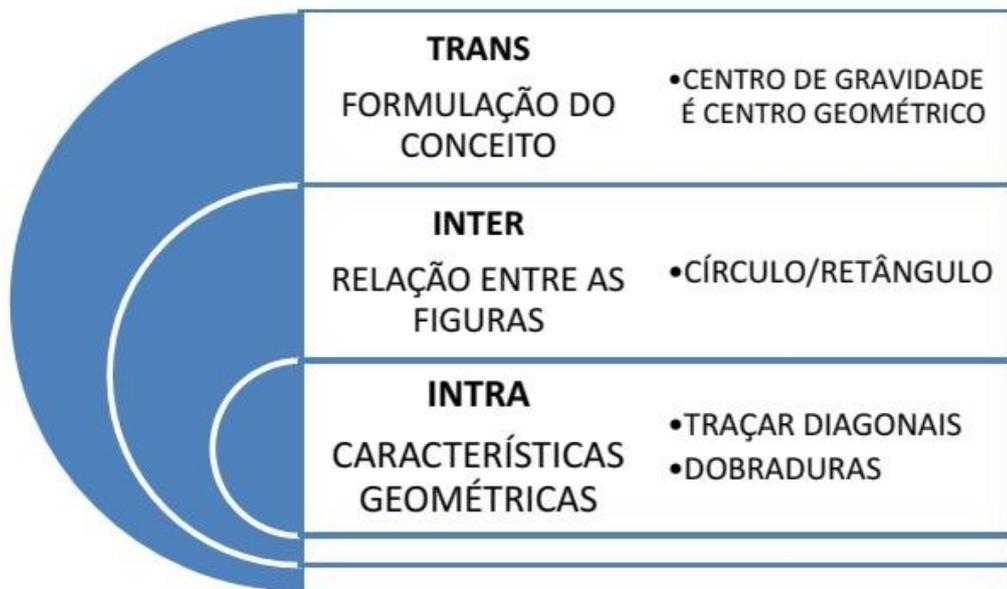
Nessa seção faremos a correlação entre o modelo de Piaget e a sequência didática que desenvolvemos. Para isso, utilizamos como exemplo a primeira atividade, o Centro de Gravidade a partir das figuras planas regulares (Círculo, retângulo e triângulo), que será o subconjunto para a construção das outras atividades com a ampliação das relações.

A realização da primeira atividade aconteceu em duas etapas. Na primeira etapa desenvolvemos a equilibração das ideias a partir da construção de que o centro geométrico das figuras planas (círculo e retângulo) é também o Centro de Gravidade. A etapa seguinte foi a desequilibração dessa mesma ideia com a inserção do triângulo e a reformulação do conceito inicial de Centro de Gravidade. Inicialmente os alunos avaliaram as características dos objetos e então usamos o círculo, o retângulo e o triângulo. Porém, inicialmente eles só receberam o círculo e o retângulo recortados no papel sulfite e foram instigados a avaliarem as características das duas figuras de modo geométrico, localizando do jeito que quisessem o centro geométrico das figuras.

Em seguida eles receberam o molde das mesmas figuras (círculo e retângulo no papel cartão e o palito de churrasco com a massinha de modelar). A nossa

intenção agora era fazer com eles relacionassem a marcação feita no papel sulfite com o ponto desconhecido que permitiria tanto o círculo quanto o retângulo, no papel cartão, ficarem em repouso em relação à Terra quando apoiados sobre ele. No caso das duas figuras, o centro geométrico é também o Centro de Gravidade e, por esse motivo, a figura permanece em repouso. Depois que fizeram essa tentativa perguntamos aos alunos se os pontos de equilíbrio coincidiam e, finalmente, qual o conceito de centro de gravidade eles poderiam elaborar. Dessa forma estávamos garantindo o fechamento da primeira tríade. Outras perguntas, além dessas foram realizadas sempre com o propósito de explorar bastante as etapas piagetianas.

**Figura 6** - Interpretação do modelo fractal para a atividade realizada



Fonte: Autora.

Após essa tríade consolidada, a nossa intenção era pensar em desequilibrar a ideia de que o centro geométrico era o centro de gravidade. Então, inserimos o triângulo na discussão e pedimos que eles avaliassem as características geométricas do triângulo, ou seja, iniciamos uma nova etapa onde a tríade anterior passa a ser um subconjunto dessa nova *investigação*. Assim provocamos os alunos a descobrirem as informações geométricas no triângulo, começando por pedir que eles encontrassem o centro geométrico assim como fizeram no caso do círculo e do retângulo, utilizando o recurso que quisessem; depois entregamos a eles o molde do triângulo no papel cartão e, com o palito de churrasco, pedimos que encontrassem o ponto que o triângulo ao ser solto do repouso não caísse. Em seguida perguntamos se os pontos, tanto no papel sulfite quanto, no papel cartão coincidiam.

Isso é interessante porque o triângulo apresenta especificidades que não são comuns às outras figuras já utilizadas.

Todo triângulo possui quatro pontos notáveis que são chamados de Circuncentro (C), baricentro (B), ortocentro (O) e incentro (I). Vamos encontrar estes quatro pontos notáveis no caso do triângulo isósceles com base de 6cm e altura de 12cm. Com estas dimensões cada um dos lados iguais terá um comprimento de 12,37cm.

Este será traçado e recortado em um papel cartão. Recortam-se também outros quatro triângulos iguais de uma folha de papel. Cada um destes triângulos de papel será utilizado para que se tracem sobre eles as retas para encontrar os pontos notáveis (...)

(...) O circuncentro é o encontro das mediatrizes, que são as retas cortando cada lado no ponto médio, perpendicularmente.

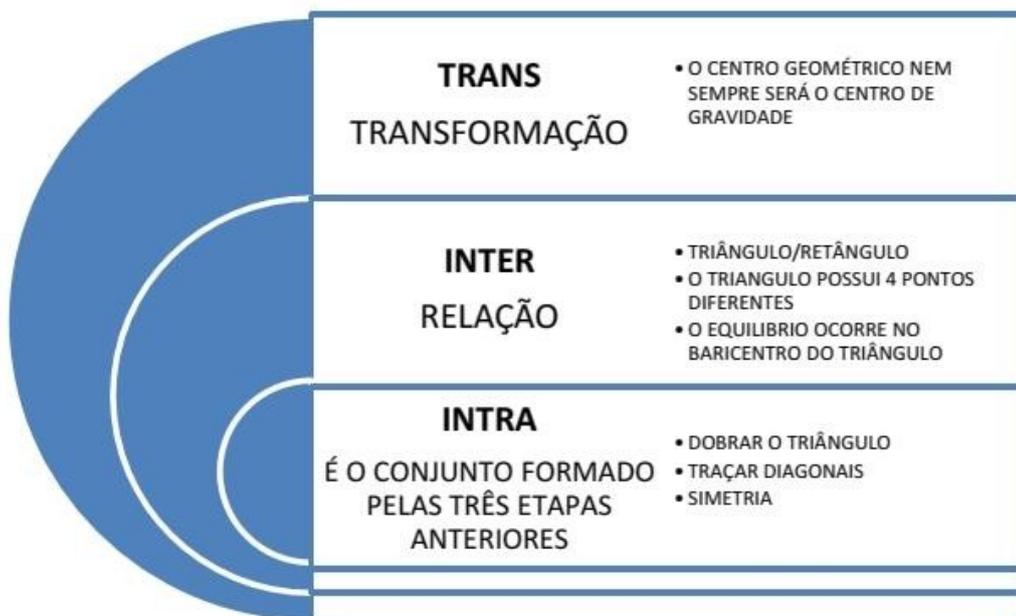
(...) O baricentro é o encontro das medianas, que são as retas que ligam os vértices aos pontos médios dos lados opostos.

(...) O ortocentro é o encontro das alturas, que são as retas que ligam os vértices perpendicularmente aos lados opostos.

(...) O incentro é o encontro das bissetrizes, que são as retas que dividem os vértices em dois ângulos iguais. (ASSIS, 2008a. P.41)

Essas particularidades do triângulo são interessantes porque permite promover os desequilíbrios de ideias e levar os alunos a repensarem na definição inicial de centro geométrico ser o centro de gravidade.

**Figura 7** - Interpretação do modelo fractal para o triângulo



Fonte: Autora.

Ao inserirmos o triângulo nessa etapa da atividade, levamos os alunos a observarem as características do objeto-triângulo, através dos elementos de

geometria, etapa-intra. Ao comparar o ponto marcado no papel sulfite com o ponto que efetivamente ele fica em equilíbrio no papel cartão ao ser solto sobre o palito de churrasco e, ao comparar tal marcação com as observações feitas no círculo e no retângulo, estamos na segunda etapa, etapa-Inter. Quando, finalmente obtemos o conceito de Centro de Gravidade a partir dessas análises, estamos na terceira etapa, a etapa-trans. E, dessa forma, fechamos mais uma tríade dentro da primeira atividade que será um novo subconjunto da nova etapa que se inicia na segunda atividade.

### 3.4 A aplicação dos roteiros de atividades em sala de aula

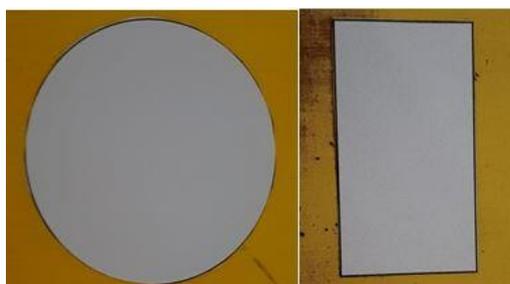
#### 3.4.1. Descrição da 1ª Aula

A primeira aula ocorreu no dia 16/06/2017, dentro da própria sala, sem a necessidade de outro espaço. Os 42 alunos foram divididos em 7 grupos de 6 alunos. Esta aula começou às 7h30min e terminou às 9h10min. A primeira atividade tinha por objetivo a obtenção do centro de gravidade a partir do centro geométrico das figuras e a obtenção desse conceito foi estruturada nos seguintes procedimentos:

- **Procedimento1**

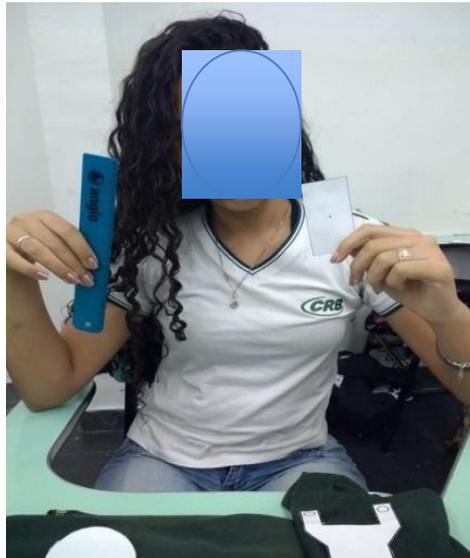
Inicialmente, foi entregue aos alunos o círculo e o retângulo feito no papel sulfite (Figura 8) e com total liberdade tentaram localizar o centro geométrico das figuras usando elementos de geometria, marcando esse ponto com um X. Perguntamos aos alunos de que maneira eles obtiveram o centro geométrico dessas figuras e ouvimos respostas do tipo “*Eu liguei os pontos médios dos lados*”, “*Eu medi as distâncias entre os lados e dividi por 2*”, “*Eu tracei duas retas e marquei o meio*”, “*ah, eu olhei e marquei o centro*”.

**Figura 8** - Molde no papel sulfite



Fonte: Autora

**Figura 9** - Localização do Centro Geométrico com régua



Fonte: Autora

Em seguida lançamos outra pergunta: “Faz diferença encontrar desse jeito ou encontrar do outro?” Alguns alunos já começam a divergir de opiniões e lançaram argumentos para defenderem suas respostas. Outros pensaram e não responderam tão rapidamente. Podemos apresentar partes da discussão entre os alunos: “*Por quê? existe só um jeito de encontrar?*”, “*Está errado fazer assim?*”, “*Não tem outro jeito, isso é fácil, não complica*”. Fizemos outra pergunta: “Traçar uma diagonal no círculo é a mesma coisa que traçar uma diagonal no retângulo?” Respondiam com convicção suas ideias, garantindo o “*sim*”, como resposta.

Depois, eles receberam o palito de churrasco, um pedaço de massinha de modelar e o molde no papel cartão do círculo e do retângulo.

**Figura 10** - Círculo em equilíbrio pelo centro no papel sulfite



Fonte: Autora

- **Procedimento2**

Com o suporte construído, feito de palito e massinha de modelar, tentaram equilibrar as figuras no molde de cartão na horizontal e compararam se o ponto de equilíbrio coincidia com o ponto marcado no papel sulfite.

**Figura 11** - Figuras em equilíbrio no papel cartão



Fonte: Autora

- **Procedimento3**

Depois que fizeram a transposição da marcação puderam elaborar o conceito de Centro de Gravidade através das comparações e das observações do centro geométrico das figuras (círculo e retângulo). A elaboração do conceito de Centro de Gravidade como sendo o centro geométrico das figuras foi a resposta predominante, sem qualquer dúvida de natureza contrária.

- **Procedimento4**

Depois que apresentaram a elaboração desse conceito de Centro de Gravidade, entregamos o triângulo no papel sulfite e pedimos que localizassem o centro “geométrico da figura”, assim como fizeram no caso do círculo e do retângulo, analisando as características geométricas do triângulo, pois foi dessa forma que iniciamos o nosso processo de construção do conhecimento e, portanto, com o mesmo grau de liberdade conduzimos as etapas seguinte.

**Figura 12** - Triângulo no papel sulfite



Fonte: Autora

○ **Procedimento5**

Depois que marcaram com X o ponto que encontraram, entregamos o molde em papel cartão do triângulo e pedimos que fizessem a transposição da marcação e que comparassem esse resultado. Ao abandonar o corpo na horizontal, nessa marcação sobre o palito de churrasco com a marcação feita no papel sulfite do triângulo e com resultado anterior, no caso do círculo e do retângulo, pedimos, em seguida, que pensassem no conceito de centro de gravidade a partir dessas novas observações, mantendo, refutando ou ampliando o conceito anterior que haviam elaborado.

**Figura 13-** Triângulo em equilíbrio no molde de papel cartão



Fonte: Autora

Após terem localizado o ponto de equilíbrio no triângulo com o auxílio do suporte, perguntamos se esse ponto coincidiu com o marcado inicialmente no molde de sulfite. Alguns alunos disseram que sim e outros disseram que não, e alguns não responderam.

Na sequência perguntamos:

- O que acontece no caso do triângulo? Por quê?
- Traçar uma diagonal no círculo e no retângulo é a mesma coisa que traçar uma diagonal no triângulo? Por quê?
- Que ponto é este que faz o triângulo ficar em equilíbrio ao ser solto do repouso sobre o palito?
- O triângulo possui centro geométrico?
- Identifique as características de cada figura e aponte as semelhanças e diferenças entre o círculo, o retângulo e o triângulo. O que mais chama a sua atenção?
- Com base nos resultados encontrados você modifica ou mantém a definição inicial para centro de gravidade? Por quê?
- Depois dessa sequência de procedimentos reescreva a definição de centro de gravidade.

No final dessa aula pedimos aos alunos que anotassem o conceito final de centro de gravidade que eles construíram após terem avaliado as características e as relações entre as figuras (círculo, retângulo e o triângulo). Eles devolveram o material para que na semana seguinte pudéssemos dar sequência às outras atividades.

### *3.4.2. Descrição da 2ª Aula*

A segunda aula ocorreu uma semana depois da primeira, dia 23/06/17. Antes de iniciarmos a aula, fizemos um breve resumo das atividades que haviam sido realizadas na semana anterior, comentamos sobre as características das figuras que eles trabalharam (círculo, retângulo e o triângulo), das relações entre elas e, por último, perguntamos qual era a definição de Centro de Gravidade que eles haviam formulado. Alguns recorreram ao caderno, mas outros já falaram sem precisar olhar. Aproveitamos a oportunidade e registramos algumas falas no canto superior esquerdo do quadro sobre as definições apresentadas.

O nosso objetivo era apenas situar o aluno no contexto da discussão, tomando o cuidado para não influenciar e/ou adiantar as etapas da construção do conhecimento que acreditávamos ser um processo individual, progressivo e sequencial, fomentado pela mudança conceitual produzida no aluno por mediação

da ação pedagógica que deve, nesse contexto, ser instigante, desafiadora e provocativa, levando o aluno ao desequilíbrio de ideias, sem induzi-los à respostas ou generalizações, sendo muito bem estruturada para permitir que o equilíbrio aconteça de forma natural pelo modelo proposto por Piaget.

- **Procedimento 1:**

Dividimos os alunos em grupos e distribuimos o suporte (palito + massinha) e o molde no papel sulfite do boneco equilibrista. Na semana anterior, eles avaliaram o comportamento das figuras planas regulares e conseguiram, dentro dessa primeira atividade, construir o conceito de Centro de Gravidade com as ferramentas que possuíam. Com o boneco equilibrista é possível extrapolar os limites dessa etapa, pois estão diante de uma figura plana, porém não regular.

Com o boneco equilibrista feito no papel sulfite, os alunos foram instigados a buscarem pelo centro geométrico da figura e com total liberdade de escolha riscaram, dobraram e fizeram medidas. Em seguida, receberam o molde feito no papel cartão e com o auxílio do suporte verificaram se o ponto marcado no papel sulfite era o ponto em que o boneco no papel cartão ficaria em equilíbrio quando solto do repouso, na horizontal, sobre o palito.

Alguns alunos responderam imediatamente que o Centro de Gravidade estava no centro do boneco, outros começaram a esboçar características de desconfianças e, outros disseram que os pontos não coincidiam, expressando sentimentos de frustração. Alguns simplesmente diziam que os pontos não eram os mesmos e 2 (dois) grupos usaram o caminho inverso, pegaram o suporte feito de palito de churrasco que já havia sido construído na atividade 1 e suspenderam o boneco, ainda no molde de (papel sulfite) pelo peito mostrando a localização do centro de gravidade como sendo o ponto que o boneco ficaria em equilíbrio. Isso gerou uma preocupação no momento da atividade, pois estavam apenas com o molde de papel sulfite, já ainda receberiam o molde no papel cartão para depois fazerem a transposição dos pontos para verificarem se efetivamente era o ponto que a figura permaneceria em repouso em relação à terra.

Enquanto suspendiam o boneco pelo palito, faziam questão de ser notados pelo restante da turma, como se tivessem certeza do que estavam provando. Os outros grupos não abandonavam suas ideias e procedimentos, continuavam riscando, traçando diagonais e dobrando o boneco, mas observavam com atenção a

animação dos outros dois grupos e me olhavam, tentando identificar através do meu comportamento se a ação dos dois grupos estava correta.

○ **Procedimento 2**

Deixamos que todos terminassem de fazer o que juntos começaram e, em seguida, ao entregar o molde no papel cartão, pedimos que tentassem localizar o ponto de equilíbrio no boneco utilizando o suporte marcando um X nesse ponto e que depois comparassem essa marcação com a anterior no papel sulfite. Percebemos que alguns alunos que tinham dúvidas começaram a concordar com os dois grupos bastante entusiasmados, e outros alunos diziam que os pontos não coincidiam. Fizemos também, a seguinte pergunta: O centro do boneco é o lugar onde ele permanece em repouso quando abandonado sobre o suporte?

**Figura 14** - Transposição da marcação



Fonte: Autora

Alguns perceberam pela exibição e excitação dos outros grupos que tal ponto estava localizado no peito e, testando com o suporte, perceberam que esse ponto estava mais próximo a cabeça e que nenhum outro ponto ao longo do boneco tinha a característica de deixá-lo em repouso.

**Figura 15** - Boneco em equilíbrio no molde de papel cartão



Fonte: Autora

Outra pergunta que fizemos foi: Como determinar a localização deste ponto sem o auxílio do suporte? Já que alguns alunos perceberam que a dobradura que fizeram e as diagonais que traçaram não deram a localização exata.

Ensinamos a construir o fio de prumo, bastando, para isso, amarrar em uma das extremidades do palito de churrasco um pedaço de barbante, de aproximadamente 10 cm e na outra extremidade do barbante uma bolinha que pode ser feita de massinha de modelar (borracha) para esticar o barbante. Pedimos que abandonassem o boneco pela mão ao longo do barbante e riscassem a reta que acompanhava o barbante esticado na vertical. Depois que trocassem e repetissem o procedimento usando a outra mão do boneco, o encontro das retas determinou um ponto, o mesmo que fazia o boneco quando apoiado na horizontal sobre o palito permanecer em repouso em relação à Terra.

**Figura 16** - Localização do centro de gravidade através do fio de prumo



Fonte: Autora

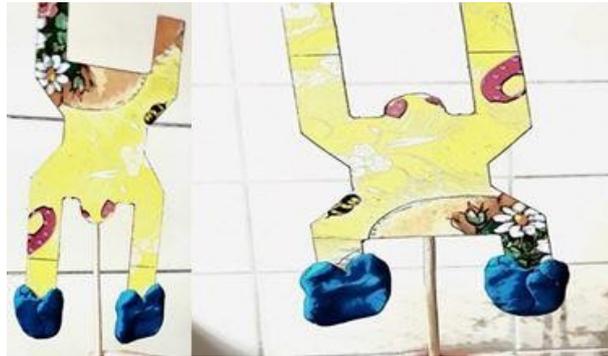
Ainda que tenham determinado a localização do centro de gravidade, que tenham percebido que esse ponto não estava no centro do boneco e que as ferramentas que foram utilizadas antes agora estavam limitadas a forma do corpo, a resposta ao porquê de estar ali e não em outro lugar o centro de gravidade não foi simples de aparecer entre os grupos. Após a realização desses procedimentos, perguntamos se o conceito anterior de centro de gravidade que haviam elaborado a partir da análise das figuras (círculo, retângulo e triângulo) estava em conformidade com as novas observações, permitindo que fossem capazes de refletir sobre a pergunta: Qual o conceito de centro de gravidade é possível construir a partir dessas observações?

- **Procedimento 3**

Enquanto conversavam e formulavam definições, começamos a entregar pedaços de massinha de modelar e sugerimos que brincássemos um pouco até a resposta aparecer. O primeiro desafio era colocar o boneco sentado no palito que eles já tinham tentado fazer isso antes de receberem a massinha, quando estavam em busca do ponto de equilíbrio do corpo. Agora isso passou ser um desafio para a turma podendo contar com a ajuda da massinha de modelar, mas sem ludíbrios! Em pouco tempo, alguém consegue e, logo, todos já estão repetindo o mesmo procedimento. E então perguntamos: E de cabeça para baixo? Eles repetem o mesmo procedimento, trocando a posição da massinha, colocando-as nas mãos como se estivessem escorrendo pelos dedos.

Os dois grupos que haviam localizado o Centro de Gravidade com o auxílio do palito afirmaram que o centro de gravidade agora estava no contato entre o palito e o papel. Outros alunos disseram que o Centro de Gravidade continuava no peito, próximo à cabeça. Aproveitamos a oportunidade e perguntamos se existia mais de um Centro de Gravidade na figura.

**Figura 17** - Boneco sentado e de cabeça para baixo



Fonte: Autora

**Figura 18** - Boneco no molde cartão em equilíbrio no dedo da aluna



Fonte: Autora

Percebemos alguns grupos testando a localização do Centro de Gravidade do boneco com a massinha fixada às mãos através da transformação do suporte em fio de prumo sem que pedíssemos para fazer, para verificarem a intersecção das retas na nova situação. Outro aluno perguntou se o que aconteceu no caso do boneco era a mesma coisa que aconteceu no caso do triângulo e ainda ouvimos pergunta: “*É a mesma coisa que acontece com a vassoura deitada no dedo?*”. Respondemos essa pergunta fazendo outra: faz diferença ter mais massa próxima aos pés quando o boneco ficou em equilíbrio sentado ou mais massa próxima a cabeça quando ele ficou em equilíbrio de cabeça para baixo?. Os alunos pareciam estar convencidos de que a massa fazia modificar a localização do Centro de Gravidade. E então, repensamos o conceito de Centro de Gravidade a partir dessas considerações. Já estávamos no final da aula, recolhemos o material e pedimos que anotassem esse último conceito no caderno.

### 3.4.3. Descrição da 3ª Aula

Essa era a terceira semana do mês, dia 30/06/2017. Fizemos a distribuição dos alunos em grupos e entregamos o boneco equilibrista no molde de papel cartão e o suporte (palito + massinha). Começamos a aula com um breve resumo das duas atividades anteriores de forma demonstrativa. Mostramos algumas fotografias projetadas no quadro das duas atividades anteriores realizadas. Iniciamos a aplicação da terceira atividade através da pergunta feita pelo aluno que relacionou o equilíbrio da vassoura com o equilíbrio no boneco equilibrista.

#### ○ Procedimento 1

Convidamos dois alunos, um menino e uma menina, para participarem de algumas brincadeiras na frente dos demais colegas. Propositalmente um aluno alto e forte e uma aluna baixa com o quadril mais largo.

**Figura 19** - Equilíbrio no corpo humano

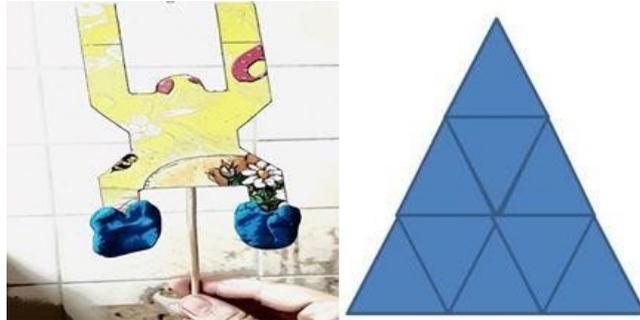


Fonte: Autora

Perguntamos onde estava o centro de gravidade na menina e no menino e prosseguimos: será que eles são iguais ao boneco equilibrista? Eles pareciam estar confiantes de que na menina estava mais próximo ao quadril (maior massa) e no menino mais no peito (maior massa) e que esse comportamento era o mesmo no caso do triângulo, sendo a massa nos alunos a área no caso do triângulo e a massinha no caso do boneco equilibrista. Ao medirmos a distância do umbigo aos pés da menina e do umbigo aos dedos da mão, estando os braços esticados e passando por cima da cabeça perceberam a troca entre distância e massa, ou seja, onde a massa era maior a distância teria que ser menor e vice-versa. Fizemos a mesma coisa com o menino e percebeu-se que a distância do peito (maior massa)

aos dedos da mão era menor que a distância do peito aos pés, a distância deveria ser maior para compensar a pouca massa e assim garantir o equilíbrio do corpo.

**Figura 20** - Comparação entre triângulo e boneco equilibrista

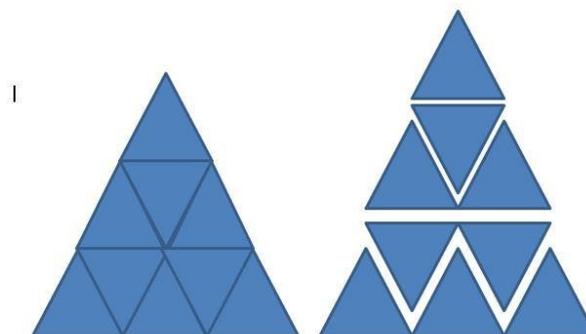


Fonte: Autora. Triângulo retratado por Assis (2008 a, p.53)

○ **Procedimento 2**

Aproveitando a oportunidade, projetamos no quadro, já no final da aula, dois slides: o do triângulo com os triângulos menores para encaixarmos e uma foto deles em sala conseguindo equilibrar o triângulo no baricentro (atividade anterior), estando esse localizado na região de maior área e, portanto, há  $\frac{1}{3}$  da altura do triângulo. E voltamos à pergunta inicial quando colocamos o boneco sem a massinha na horizontal em equilíbrio sobre o palito do por que “ali” ser o ponto que o boneco fica em equilíbrio ao ser abandonado sobre o palito e não em outro lugar ao longo do boneco e os alunos em sala complementavam as fala dos outros, construindo a resposta final da seguinte forma: “O formato é diferente”, outro aluno complementa “Aí tem que ter mais massa na região da barriga e por isso as pernas são mais curtas e os braços mais compridos”. Eles se olham, com postura de que compartilham a mesma opinião e acreditam que estão certos.

**Figura 14** - Triângulo isósceles com 5 triângulos na parte inferior.



Fonte: Assis (2008 a, p. 53)

Depois de toda essa discussão, perguntamos se eles manteriam ou reformulariam o conceito de Centro de Gravidade e percebemos nas falas que a

definição do Centro de Gravidade estava sendo relacionada também com a distribuição de massa do corpo e com a distância. Algumas definições aparecem no Quadro 5, do Capítulo 4.

- **Procedimento 3**

Aproveitando o ensejo propusemos mais uma atividade em que o menino e a menina deveriam empurrar uma caixa de fósforos com a ponta do nariz sem cair, ajoelhados no chão e com as mãos para trás. O vencedor levaria para casa uma caixa de bombons. Já estávamos no final da aula e todos os alunos se levantaram das carteiras querendo participar e vieram para frente do quadro, creio motivados pelos bombons, mas acima de tudo pelo desafio feito e pela confiança de que pudessem com o conhecimento adquirido ganhar o desafio. Durante a realização desta atividade, fizemos outras perguntas, fizemos outras brincadeiras explorando bastante o equilíbrio do corpo humano, citamos exemplos de equilíbrio no dia a dia de automóveis, torres inclinadas, falamos do centro de gravidade do gato em comparação com o de uma criança até o primeiro ano de vida, das mulheres grávidas, do transporte de cargas. Nesse momento da aula, estávamos buscando sintetizar todas as ideias com o propósito de garantir que eles pudessem construir o conceito de centro de gravidade. Antes de finalizar, recolhemos os materiais.

#### 3.3.4. Descrição da 4ª Aula

Na última semana, no dia 6/07/2017, iniciamos a aula de modo equivalente ao que havia sido feito na semana anterior. Fizemos alguns *slides* de fotos, incluindo todas as atividades na ordem que foram aplicadas. Isso permitiu que eles relembassem o que haviam feito sem a necessidade da nossa intervenção direta pela fala e eles curtiam a ideia de se verem nos *slides*. Por isso escolhemos fotografias que contemplassem cada semana um grupo diferente e que os procedimentos não estivessem tão em evidência na fotografia, mas essa prática facilitava a organização rápida da turma e a aplicação da atividade.

- **Procedimento 1**

Apresentamos à turma a joaninha teimosa, uma semiesfera de isopor revestida com uma bexiga, tendo em seu interior, do lado esquerdo, uma chumbada

escondida. A aula começa com a seguinte pergunta: Onde está o centro de gravidade dessa joaninha? Por quê? Os alunos não tocaram nela, a joaninha estava sobre uma mesa, no meio da sala.

**Figura 22** - Joaninha com a chumbada na lateral



Fonte: Menezes<sup>1</sup>

Alguns disseram que estava localizado no centro dela, na região em contato com a mesa. Outros olhavam atentamente, mas não arriscavam a falar, e ouvimos ainda que poderia estar na região do ponto mínimo de contato dela com o palito imaginando a superfície superior da joaninha sendo delimitada por uma parábola.

#### ○ **Procedimento 2**

Colocamos ela com as perninhas para cima e soltamos e a turma presenciou a cambalhota da joaninha, ficando surpresos ao perceberem que havia algo diferente nela. Repetimos o procedimento e a joaninha continuava a dar cambalhotas. Ficaram curiosos, queriam pegar para descobrir o seu segredo e fizeram várias perguntas, tais como: *“Tem um ímã aí?”*; *“Ela tem a mesma massa?”*; *“Do que ela é feita?”*; *“O que tem dentro dela?”*. Aproveitamos e fizemos a seguinte pergunta: Por que o Centro de Gravidade, por exemplo, mudaria em virtude dessa distribuição de massa?. Ouvimos respostas como: *“Os pontos não se batem”*, *“Mesmo que você marque o centro o peso não equivale para os dois lados”*, *“Depende da figura e da massa para marcar o ponto de equilíbrio”*, *“é necessário uma divisão igual da área para achar o ponto de equilíbrio”*, *“A distância da massa em relação ao centro altera a influência do ponto de equilíbrio”*.

---

<sup>1</sup> As imagens, cuja autoria é de “Menezes”, foram cedidas do acervo pessoal do orientador desta dissertação, Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes.

**Figura 15** - Joaninha virando cambalhota



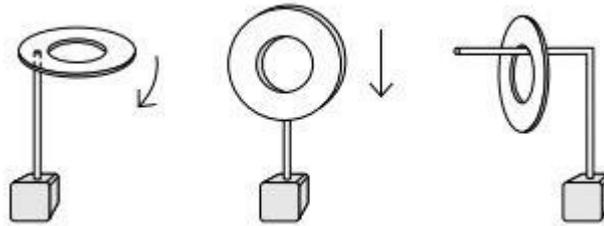
Fonte: Menezes

○ **Procedimento 3**

Enquanto falavam, distribuimos o boneco equilibrista, o suporte de palito, a massinha de modelar e uma joaninha para cada grupo. E ainda nessa discussão perguntamos se há alguma relação entre o equilíbrio no boneco equilibrista ao adicionar a massinha nas situações já avaliadas, com o equilíbrio na joaninha que ocorreu quando deslocaram o palito para região de maior concentração de massa, e ouvimos algumas respostas como: *“O ponto de equilíbrio não está no meio da figura”*; outras falas aparecem *“Além das medidas dos lados e eixo de simetria a concentração de massa é importante”*, *“A distância da massa em relação ao centro altera a influência do ponto de equilíbrio”*, *“A base do triângulo possui maior massa como no boneco equilibrista ao adicionar massinha”*, *“É necessário uma divisão igual da área em relação à massa para achar o ponto de equilíbrio”*, *“Tem que compensar a pouca massa com mais distância, igual a balança”*, *“O ponto de equilíbrio depende da massa e da distância”*, *“o equilíbrio não depende da área, mas da massa e da distância”*.

○ **Procedimento 4**

Com o objetivo de sintetizar os pontos mais importantes, pegamos um círculo no molde de sulfite, conforme a Figura 25, e recortamos o centro dessa figura, transformando-a em uma arruela e apoiamos a região interna da coroa circular no palito de churrasco posicionado na horizontal. Dessa forma discutimos se a palavra “centro” era uma boa nomenclatura para identificar o lugar que o corpo permaneceria em repouso em relação à Terra. E, finalmente, perguntamos qual o conceito de centro de gravidade poderíamos formular ao concluirmos essa última atividade.

**Figura 24 - Arruela em equilíbrio**

Fonte: Assis (2008a, p. 57)

A sequência didática apresentada no Apêndice A traz ajustes e alterações que julgamos necessários no final dessa aplicação. Durante a aplicação em sala de aula, o professor inicia esse processo a partir do equilíbrio das figuras, atribuindo a este ponto de equilíbrio qualidades e características em níveis crescentes de complexidade, ora produzindo certezas propositais, ora gerando desconforto e desequilíbrio. Foi nessa interface de compreensão que conseguimos acomodar e desenvolver nossas atividades com bons resultados, levando o aluno a apropriar-se de novos conceitos, ampliando o seu conhecimento acerca das informações sobre o ponto de equilíbrio até conseguir atribuir a ele o significado de Centro de Gravidade. Por isso, fizemos ajustes na sequência apresentada como produto para que o professor possa incorporar essa dinâmica em aplicações futuras.

No capítulo seguinte vamos apresentar os principais resultados que obtivemos com a aplicação desses roteiros.

## Capítulo 4

### Análise e Resultados

A partir das observações das atividades realizadas em sala, procuramos elencar algumas ações que pudessem refletir uma aprendizagem construtivista, pautada na proposta cognitivista construtivista que fundamenta este trabalho. Podemos destacar algumas ações como sendo: a troca de conhecimento entre os alunos, a condição de construtores de conhecimento, a transformação do conhecimento, a capacidade de estabelecer comparações, de construir um novo conceito, e outras.

A troca de conhecimento entre os alunos evoluiu gradativamente ao longo das atividades. Na atividade que envolveu o boneco equilibrista e a massinha de modelar, percebemos na conversa entre dois alunos, que vamos chamar de alunos A e B, que a “racionalidade” vai ocupando de forma sequencial o “eu acho” e percebemos que a linguagem utilizada, a relação entre eles, o meio cultural que estão inseridos, viabilizou esse processo de rupturas e transformações. “É a partir das trocas sociais que a racionalidade se desenvolve” (PIAGET, 1983 apud AGUIAR, 1999, p.75).

O aluno A diz: *“No bonequinho a distância tem que diminuir pra ‘fica’ em repouso porque tem mais massinha aqui”.*

O aluno B responde *“Não precisa, é só colocar mais massa do outro lado”*

O aluno A assente: *“Ah, ta...”*

[...] e ouvimos risos.

A condição de construtores de conhecimento foi percebida em vários trechos do áudio, bem como durante a própria discussão por meio de elementos que permitiram identificar que a capacidade de transformar, construir e comparar estava norteando as falas de alguns alunos, na verdade, da maioria deles.

Ainda na atividade envolvendo o boneco equilibrista, ouvimos a seguinte fala de uma das alunas: *“É a mesma coisa que acontece na vassoura, não é”? Precisa escorregar o dedo para próximo de onde tem mais massa para ficar parada”.*

Na primeira atividade com o círculo, o retângulo e o triângulo percebemos que inicialmente os alunos ficavam em silêncio, cada um usando seu conhecimento

prévio e tentavam localizar o Centro de Gravidade a partir do centro geométrico da figura. Não percebíamos a troca de informação entre eles, mas colocavam em evidência o conhecimento já adquirido, permitindo ao professor conhecer e se apropriar de tal informação para conduzir a discussão. Por outro lado, ao apresentar o conceito de Centro de Gravidade para figuras planas como sendo: “*É o centro da figura*” (fala dos alunos), foi possível perceber que estavam limitados apenas às duas figuras (círculo e retângulo), ou seja, o conhecimento já adquirido não apresentava naquele momento nenhuma possibilidade de expansão, e nessa inércia eles permaneceriam se não fosse oferecido a eles a oportunidade de confrontar seu saber prévio.

Naquele momento da trajetória escolar dos alunos, apesar de já terem estudado a matéria com outro professor, não havia na estrutura cognitiva deles outra definição, nem mesmo a tendência a suspeitar que pudesse ser diferente, estavam habituados ao modelo tradicional de ensino, em que as definições aparecem prontas, a capacidade de relacionar ideias poucas vezes aparece e a valorização das características do objeto quase nunca é relevante durante a explicação.

Ao inserir o triângulo, alguns alunos disseram que o Centro de Gravidade era o centro da figura, outros perceberam que tal ponto estava mais abaixo, mas ainda assim não conseguiam compreender as diferenças, outros já usaram o próprio palito para localizar o Centro de Gravidade, abandonando a ideia de dobrar, riscar e a própria simetria da figura, expondo o conhecimento adquirido na atividade anterior.

Nesse momento da discussão o conceito anterior não dava conta de atender as observações e, quando foram instigados a apresentar o conceito de Centro de Gravidade diante da nova figura, percebeu-se que a informação “centro da figura” foi retirada da grande maioria das falas. Aqueles que ainda não tinham percebido foram novamente provocados com o propósito de continuar o processo de equilíbrio e desequilíbrio das ideias. De acordo com Aguiar (1999), esse é um processo inesgotável.

É evidente que essa compreensão pode se desenvolver em muitos patamares ou níveis de entendimento. O processo é inesgotável, na medida em que uma compreensão não pode ser nunca entendida como “completa”, fechada ou acabada (AGUIAR, 1999, p.75)

A transformação de um conceito foi possível de ser percebida depois da transformação do conhecimento realizada na atividade 1, que envolveu as figuras planas, conforme a Tabela 1.

As ações de transformação de um conceito aparecem constantemente perpassando todas as atividades, e puderam ser observadas com mais intensidade à medida em que os alunos se apropriavam dos saberes, participando ativamente do processo, com mais interesse e motivação durante a sua evolução conceitual. Essas ações estiveram sempre associadas às ações de transformação do conhecimento.

A Tabela 1 apresenta as ações e a intensidade de ocorrência durante a realização das atividades. Usaremos o sinal (+) para apresentar a intensidade de ocorrência em cada atividade. Sendo que:

- (+) pouco significativo.
- (++) significativo.
- (+++) muito significativo.

**Tabela 1** - Intensidade das ações ocorridas durante a realização das atividades

<b>Ações</b>	<b>Atividade1</b>	<b>Atividade2</b>	<b>Atividade3</b>	<b>Atividade4</b>
<i>Troca de conhecimento entre os alunos.</i>	+	++	+++	+++
<i>Alunos: construtores de conhecimento.</i>	+	+++	+++	+++
<i>Estabelecer comparações.</i>	+	+++	+++	+++
<i>Transformação do conhecimento prévio.</i>	+	+++	+++	+++
<i>Construção do conceito.</i>	+	++	+++	+++

Fonte: Autora.

A organização dos alunos em grupos estimula a troca de conhecimento entre eles e é uma forma natural de motivação. Cada aluno tenta fazer algo diferente do outro. Alguns traçaram diagonais, outros fizeram dobraduras e alguns usaram o próprio palito de churrasco na busca do centro geométrico, acreditando que tal ponto estivesse relacionado com o equilíbrio nas figuras.

Essa troca de conhecimento é um atalho muito importante no sentido de encurtar a distância entre a fala do professor e a compreensão do aluno. Percebemos que quando um aluno explica ao outro, existe certa facilidade na

conversa, que pode levar à compreensão. Essa passagem nos faz lembrar de Eric Mazur que criou a metodologia ativa *Peer Instruction* que, ao pé da letra, significa “instrução entre pares”, ou ainda “instrução por colegas”. Mazur (2015, n.p.), afirma que o modelo tradicional de aula de Física extirpa a curiosidade e produz alunos conceitualmente deficientes. Segundo ele, “A curiosidade, presente desde a infância, é uma das mais encantadoras características do ser humano. O ensino de Física tradicional, totalmente adepto da memorização, mata totalmente essa curiosidade”

Na proposta de Mazur, os alunos são protagonistas, instigados a expor seus conhecimentos prévios na busca pelas respostas às questões apresentadas pelo professor, discutindo entre si, convencendo uns aos outros, sendo capazes de reter para sempre o conteúdo estudado. O estudante é inserido ativamente nesse processo de ensino e aprendizagem, sendo ele o responsável pelo próprio processo de aprender. Isso ocorre, talvez, pela liberdade que existe entre eles de discordar um do outro, de aceitar ou não a fala do outro, enquanto com o professor a conversa parece ter um destino certo, não podendo, pela figura de autoridade conferida, ser diferente daquilo que ele fala.

#### **4.1. Análise da primeira atividade**

A Figura 25 mostra a expectativa que tínhamos em relação ao conjunto de atividades propostas de acordo com a evolução das etapas intra, inter e trans em cada nível da atividade proposta.

**Figura 25** - Expectativa de evolução do conceito de Centro de Gravidade



Fonte: Autora.

A interação entre os alunos aparece de forma pouco significativa (+) quando receberam o molde no papel sulfite e com liberdade tentaram localizar o centro geométrico das figuras. Naquele momento, cada aluno assumia e representava o conhecimento que possuía para manifestar a maneira de localizar o centro da figura. Não trocavam informações com frequência entre eles.

Os grupos permaneciam em silêncio enquanto executavam a tarefa e estavam usando o conhecimento adquirido em outros momentos da vida para apresentar a resposta àquele problema. As comparações que faziam estavam limitadas às duas figuras planas, o círculo e o retângulo, com características propositalmente semelhantes escolhidas por nós, para testarmos se a capacidade de estabelecer comparações para além daquelas figuras poderia aparecer nas discussões, antes de eles apresentarem o conceito final.

Não ouvimos, nem percebemos durante a discussão, nenhum indicador que pudesse apontar que a elaboração final do conceito de centro de gravidade estava sendo construído apenas para aquelas duas figuras, isso aparece, por exemplo, quando respondem à pergunta: Traçar uma diagonal no círculo é a mesma coisa que traçar uma diagonal no retângulo? Como um “*sim*” naquele momento consistia em uma das possibilidades daquele aluno naquela circunstância e isso sugere que a construção final do conceito de centro de gravidade para figuras planas foi

construída apenas com base no círculo e no retângulo de forma limitada e que a capacidade de estabelecer comparações não era valorizada, incentivada e, portanto, não utilizada pelos alunos, sendo considerada pouco significativa (+).

A intenção e o compromisso social da educação escolar exigem que o professor consiga garantir, no curso das interações em sala de aula, outras possibilidades de repostas. Com a inserção do triângulo os alunos estavam diante de uma nova situação e percebemos que alguns sujeitos conseguiram acionar os esquemas de assimilação e, diante de uma situação perturbadora, os modificaram por acomodação. “Nesse processo de integração e diferenciações, o sujeito acaba por engendrar equilíbrios majorantes, isto é, restaura o equilíbrio num patamar que enriquece suas possibilidades de compreensão” (Aguiar, 1999, p.75). As comparações permitiram desequilibrar as ideias anteriores e transformar o conceito elaborado.

A atividade 1 parece ser bem simples, mas apresenta sutilezas que são capazes de colocar à tona o conhecimento prévio do aluno que é de fundamental importância para construção de novos conceitos. Essa primeira atividade foi o nosso ponto de partida, em termos das expectativas que tínhamos quanto às formas de entendimento mais comuns entre os alunos de 16/17 anos que já haviam estudado estática no primeiro ano do Ensino Médio. As falas que ouvimos durante esse primeiro nível estavam amparadas nas construções anteriores que foram realizadas em ambientes diversos, inclusive fora de sala de aula e das aulas que haviam participado, mediados pela cultura e linguagem. Pesquisas realizadas por Piaget e Garcia (1973 apud AGUIAR, 1999) indicam resultados equivalentes.

A atenção estava voltada para as características das figuras e com a finalidade de fazê-los perceber se tais características poderiam dar conta de responder a localização do centro de gravidade. Desta constatação criam-se dois momentos diferentes e complementares, necessários a compreensão. O primeiro ao propor a atividade com o círculo e com o retângulo os alunos conseguem chegar ao conceito de centro de gravidade que essas figuras apresentam pelas características de simetrias observadas. Eles concluem que as figuras, por suas características, teriam o mesmo comportamento. A formulação geral de um conceito a partir de uma observação particular do círculo e do retângulo passa a existir na estrutura cognitiva do aluno que propositalmente, no intuito de equilibrar suas ideias em torno dessa observação, foi colocada como tarefa inicial. O segundo momento acontece com a

desequilíbrio dessas ideias, quando os alunos recebem o triângulo, outra figura plana com quatro pontos notáveis. Procedendo da mesma maneira, eles foram levados a observar que o Centro de Gravidade não é o centro geométrico, desconstruindo o conceito anterior, ampliando a estrutura cognitiva em busca de mais informações que permitissem reestruturar as ideias, viabilizando a mudança conceitual.

Para elaboração do conceito de Centro de Gravidade faz-se necessário não apenas observar as características das figuras, mas é preciso relacionar e comparar. No momento que formularam o primeiro conceito, eles estavam limitados à apenas duas figuras (círculo e retângulo) e não sentiram necessidade de expandir esse universo. Conforme ocorre no dia a dia da sala de aula os alunos não ampliam os exemplos citados pelos professores porque essa oportunidade é negada na prática docente tradicional. Embora incorreto do ponto de vista teórico e ainda pouco relacional, notamos aqui um grande progresso em relação a primeira definição, pois a grande maioria dos alunos percebeu que o centro geométrico das figuras não seria sempre o Centro de Gravidade e que para algumas figuras talvez nem o centro geométrico poderiam ter, como é o caso do triângulo.

Com o triângulo foi possível perceber que, além da distribuição de área ser diferente, têm-se quatro triângulos superiores e cinco inferiores. A distância era outro fator que parecia influenciar a condição de equilíbrio e, portanto, a localização do Centro de Gravidade. Era preciso ajustar a definição anterior. O aluno amplia o entendimento de forma gradativa e sequencial, sendo o construtor do conhecimento. Nesse momento percebe-se a importância da postura instigadora e provocativa do professor. Entre perceber que a definição anterior está limitada e a necessidade de garantir a reformulação, ocorre a transformação do conhecimento.

O professor atuava, não apenas direcionando e problematizando as discussões nos grupos, mas ainda no momento de síntese com toda a turma, quando os diferentes pontos de vista deveriam ser confrontados entre si (AGUIAR, 1999, p.81).

Nesse momento da observação os alunos estavam lidando com figuras planas, com distribuição regular de áreas, com e sem simetria. Inseridos nesse universo, queríamos saber qual o entendimento sobre Centro de Gravidade era possível construir. Ao final de cada etapa desse processo – ou seja, entre observar, relacionar e transformar o conceito – dá-se início a uma nova etapa na estrutura

cognitiva do aluno e, a partir desta, tantas outras são iniciadas e finalizadas quando organizadas e bem estruturadas.

## 4.2. Análise da segunda atividade

A figura 26 apresenta nossa expectativa de desenvolvimento das etapas para a segunda atividade.

**Figura 16-** Expectativa para o desenvolvimento das etapas na segunda atividade



Fonte: Autora.

A segunda etapa foi planejada e estruturada em torno do boneco equilibrista, figura plana não regular, e mantendo a coerência investigativa e provocativa. Deixamos os alunos manusearem o boneco e buscar pela localização do centro de gravidade da mesma forma que procederam nas figuras anteriores. Pudemos perceber que a marcação que fizeram no boneco equilibrista da localização do centro de gravidade estava ainda condicionada à ideia de ser no centro da figura e que quando tentaram equilibrar o boneco no palito através deste ponto não obtiveram sucesso. Com a utilização do fio de prumo encontraram outro ponto e, após testar novamente a ocorrência do equilíbrio, perceberam que naquele ponto era possível. O processo de construção é assim, um processo de reestruturação no qual todo conhecimento novo é gerado a partir de outros prévios.

O fato mais notável nesse patamar de entendimento observado entre os alunos ainda era considerar o centro de gravidade como sendo o centro da figura,

mas faziam isso com o propósito de refutar ou de garantir essa possibilidade na análise? Avaliavam propriedades e atributos da primeira atividade expressando ideias que já julgávamos ter conseguido superar na elaboração do conceito de Centro de Gravidade da primeira tríade, esses mesmos alunos demonstraram em outras ocasiões progressos nas explicações e interpretações dadas ao entendimento do conceito, mas ainda estavam ligados de alguma forma à constatação anterior. Isso pressupõe que exista uma zona intermediária de conflito entre ideias já adquiridas e aquelas que pretendemos alcançar. Esse ritmo nos processos de aprendizagem apresentou-se de forma muito diversificado, nas duas turmas. E como já citamos, lá existe o critério de separar os alunos por desempenho, mas a aplicação dessa atividade demonstrou, reafirmou e fez produzir as mesmas ações. Quando questionados sobre tal comportamento, compararam a situação do boneco com o triângulo e sentiam a necessidade de estabelecer comparações para transformar e/ou construir um novo conceito.

### 4.3. Análise da terceira atividade

A figura 27 apresenta nossa expectativa de desenvolvimento das etapas para a terceira atividade.

**Figura 17** - Expectativa de desenvolvimento das etapas na terceira atividade.



Fonte: Autora

Na terceira atividade, a massinha de modelar foi entregue e, novamente com total liberdade, pedimos que colocassem o boneco sentado sobre o palito. Alguns alunos verificam experimentalmente que, ao adicionar a massinha no boneco, a posição de equilíbrio passa a ser outra, ou seja, ele precisou modificar a distância porque alterou a distribuição de massa no corpo.

Não demorou muito e logo alguém conseguiu e, em seguida, todos os bonecos já estavam sentados. Diante dessa nova distribuição de massa perguntamos o que havia acontecido com o Centro de Gravidade. Alguns alunos deram sinais de mudanças muito mais significativas e profundas, percebidas pelas perguntas feitas ao longo das atividades, como *“É a mesma coisa que acontece com a vassoura ao ser apoiada no dedo?”*, perguntou uma aluna. Percebemos nessa fala que o processo de estabelecer comparações aparece de forma mais significativa e que está ocorrendo a construção de um novo conceito, inserindo a distribuição de massa e a distância como responsáveis pela nova condição de equilíbrio. Outros pegaram o fio de prumo e deixaram o boneco preso nas massinhas oscilarem até adquirir o repouso, outros disseram que estava no mesmo lugar e alguns não opinaram. Os alunos que utilizaram o fio de prumo estavam reproduzindo a mesma técnica que permitiu encontrar o centro de gravidade no boneco equilibrista sem alterar a sua massa, assim como traçaram a diagonal no círculo, no retângulo e depois no triângulo e encontraram resultados diferentes. É a transição conflituosa entre aquilo que se sabe e o que se deseja saber.

Percebemos que a capacidade de relacionar está cada vez mais presente, mas que ainda perpetua a ideia de que as figuras, de alguma forma, mesmo sendo diferentes podem apresentar o mesmo comportamento. Aqui se faz necessário repensar a situação do círculo, do retângulo e do triângulo para assegurar que a transformação do conhecimento se faça de forma progressiva. Os alunos que disseram que estava no mesmo lugar compreendem o centro de gravidade como algo intrínseco ao corpo, determinado por condições próprias do mesmo. Diante disso é preciso dar sequência ao processo de equilibração e desequilibração até conseguir produzir a construção de uma nova ideia. Nem todos vão conseguir construir o mesmo conceito, mas o objetivo é saber que conceito o aluno será capaz de construir ao passar pelo conjunto de atividades propostas. Não há a intenção de levar o aluno a compreender o conceito de Centro de Gravidade da forma que aparece nos livros, mas sim de levá-lo a um entendimento que seja significativo.

Para conduzir e assegurar a ocorrência da transformação do conceito, convidamos dois alunos, um menino e uma menina, para participarem de algumas brincadeiras na frente dos demais colegas. O professor não apenas instiga e provoca, ele deve ser capaz de apresentar no momento certo a possibilidade de garantir que o aluno construa conceito.

Propositalmente escolhemos um aluno alto e forte e uma aluna baixa com o quadril mais largo e perguntamos aos alunos onde estaria o centro de gravidade em cada um. A resposta foi imediata: no homem mais acima, no peito, devido à distribuição de massa; na menina mais próximo ao umbigo pelo mesmo motivo. Com o auxílio da fita métrica medimos a distância do peito aos dedos da mão, estando o braço esticado passando sobre a cabeça, e do peito aos pés e comparamos as distâncias, procedimento repetido com a menina, medindo a distância do umbigo aos dedos da mão, estando os braços esticados sobre a cabeça e do umbigo aos pés. Em seguida, comparamos os valores.

Esta atividade permitiu a construção de um novo conceito que também aparece no equilíbrio de corpos: "Torque". Eles perceberam a relação entre a força (massa) e a distância, apesar de alguns não conseguirem explicar o que estava acontecendo. A ideia de compensar a distância pela força (massa) para garantir o estado de equilíbrio já estava estruturada, pois foi imediato para alguns associarem a maior concentração de massa da menina como fator responsável pela baixa localização do centro de gravidade, enquanto a maior massa concentrada nos peitos do menino fazia o centro de gravidade subir como acontecera no caso do boneco equilibrista ao adicionar a massinha nas mãos e/ou nos pés, e no caso do triângulo maior área menor a distância.

Aqueles alunos que acreditavam que o Centro de Gravidade permanecia no mesmo lugar contemplavam olhares, gestos e sorrisos que permitiu perceber que estavam certos naquele momento e de que antes estavam equivocados. Eles foram capazes de confrontar duas situações que não coexistiam em harmonia e nessa zona de desconforto ampliaram o conceito inicial, ou até, construíram um novo conceito.

A utilização da massinha de modelar talvez tenha sido a atividade mais atrativa e motivadora que realizamos, os alunos adoraram! Os fatores determinantes dessa postura foi o engajamento dos alunos que a cada atividade aumentava pelo fato de conseguirem compreender e aprender, não sendo mais uma aula informativa

desvinculada de valores para os estudantes em um contexto diferente do tradicional, com fatores motivacionais presentes como ganhar um simples bombom e o brincar com a massinha. Os olhos brilhavam e, no final da atividade, não quiseram devolver os moldes e nem a massinha. Esse comportamento nos remete à certeza de que, além das perguntas norteadoras desse modelo cognitivo de ensino (O que é isso?, Como isso funciona? e Por que funciona assim?), é preciso inserir uma quarta fundamental de “Para que preciso saber isso?”.

Essa atividade do boneco equilibrista com a massinha permite a abordagem de vários assuntos como o equilíbrio estável, equilíbrio instável e o equilíbrio indiferente. Podemos, ainda, discutir a localização do centro de gravidade e verificar se é necessário que este esteja presente no corpo. Podemos discutir se Centro de Gravidade necessariamente é um ponto ou se pode ser uma circunferência, como no caso da joaninha teimosa, ou um eixo no caso de recortamos o centro do círculo transformando-o em uma arruela. Podemos comparar o boneco equilibrista com o círculo, retângulo e mesmo com o triângulo, adicionando pequenas quantidades de massinha sobre eles e buscando a nova posição para ocorrência do equilíbrio e a tudo isso comparar o equilíbrio do corpo humano.

Todas as situações descritas foram realizadas em sala, porém algumas não aparecem na sequência didática, pois as atividades, na ordem em que aparecem, conseguiram cumprir o objetivo deste trabalho de levar o aluno ao entendimento do conceito de Centro de Gravidade.

#### **4.4 Análise da quarta atividade**

A figura 28 apresenta nossa expectativa de desenvolvimento das etapas para a quarta atividade.

**Figura 18** - Expectativa de desenvolvimento das etapas na quarta atividade.



Fonte: Autora.

Na última atividade, ao saltarmos das figuras planas para o corpo tridimensional “joaninha teimosa”, tentamos extrapolar qualquer contradição inerente à imprevisibilidade e a indeterminação da prática docente com o processo de aprendizagem dos alunos. As comparações relacionadas ao boneco equilibrista e o corpo humano garantiu que novos conceitos pudessem ser construídos naquele momento. Percebemos que a elaboração e a extensão das atividades para a compreensão do Centro de Gravidade representam um dos inúmeros caminhos e perspectivas de construções de estruturas cognitivas cada vez mais complexas. Tais comparações não podem significar a demarcação e a limitação de outras possibilidades. Assim, por exemplo, discutimos equilíbrio estável, instável e indiferente e acabamos por alterar o objetivo central que seria a formulação do Centro de Gravidade. Ao depararmos com o interesse por parte de alguns estudantes acerca desse assunto aproveitamos e desenvolvemos, em outro contexto, a continuidade da discussão com um grau maior de complexidade.

As propriedades do Centro de Gravidade que também apareceram no boneco equilibrista, como o de equilíbrio estável, instável e indiferente e a própria localização do Centro de Gravidade e suas implicações foram conduzidas a partir da

distribuição irregular de massa na joaninha. Com a chumbada ela ficou mais pesada de um lado que do outro, porém os alunos não sabiam, pois não permitimos que eles inicialmente tocassem nela.

O comportamento da joaninha ao ser colocada de barriga para cima era de dar uma cambalhota permanecendo com a barriga em contato com o plano da mesa. Quando apresentamos a joaninha teimosa, tendo o cuidado deles não perceberem esse comportamento, perguntamos onde estava o Centro de Gravidade da figura e ouvimos algumas respostas (de alunos diferentes): *“Está no centro do círculo, porque é ali que ela fica parada no palito”*; *“Na corcunda dela porque eu consigo deixar ela parada ali”*; *“Me deixa ver?”*; *“Dos lados sei que não dá”*.

Em seguida, quando presenciaram a primeira cambalhota, nos também presenciemos caras de espanto, admiração, dúvidas, inquietudes e dispararam a fazer perguntas, como: *“Ela tem a mesma massa?”*; *“Me deixa pegar?”*; *“Você colocou alguma coisa nela?”*; *“Tem um imã?”*. E, quando puderam finalmente tocar, perceberam que a distribuição de massa não era a mesma e *continuavam* *“Tati, é igual no boneco o centro foi deslocado pra perto de onde tem mais massa, por isso que ela roda”*; *“tenta com o palito pra gente ver”*; *“O centro da figura busca a posição de melhor equilíbrio”*; *“O centro de gravidade está em volta dela”*. Por já terem passado por todas as atividades anteriores, percebe-se que a apropriação de uma explicação científica se aproxima da maneira de pensar do aluno, e que o enfrentamento de conflitos e a superação de obstáculos parece ser condição necessária a construção do conhecimento. Essa maneira de pensar foi propositalmente conduzida e estimulada pela sequência de atividades.

A formulação final do conceito de Centro de Gravidade, que vinha sofrendo ampliações e transformações, chegou com essa quarta atividade dentro da perspectiva construtivista desse trabalho na sua construção final. Percebemos que é muito complexa e bastante indeterminada a forma de entendimento dos alunos, que vivem com tantos outros esquemas conceituais provenientes das relações do dia a dia. A joaninha teimosa possibilitou resgatar a consciência de aceitar que existem as limitações e as relações de complementaridades e, às vezes, até incompatibilidades, entre a apropriação do conhecimento anterior e o efetivo progresso na ampliação do mesmo conceito. No entanto, a motivação, a apropriação das **ações** associadas ao interesse ou a capacidade conferida de se apropriar delas em outros momentos, permitiu constatar que a proposta cognitivista construtivista da sequência didática

conseguiu produzir as relações necessárias nesse processo de ensino e aprendizagem.

Percebemos que, quando os estudantes são envolvidos de fato com situações perturbadoras para eles, eles conseguem transformar ou ampliar suas formas de conhecimento que podem conduzir às regiões de instabilidades que, por sua vez, são pontos de aberturas para nós professores. Do campo conceitual objeto deste trabalho, podemos perceber que os progressos foram além do esperado. O Quadro 5 apresenta a construção desse conceito. As colunas apresentam a evolução dos conceitos de centro de gravidade apresentadas pelos alunos A, B, C e D à medida que avançavam nas atividades 1, 2, 3 e 4 apresentadas na horizontal.

#### 4.5. A evolução do conceito de centro de gravidade

O Quadro 5 apresenta a evolução do conceito de Centro de Gravidade para um grupo de alunos que participaram do conjunto de atividades propostas.

**Quadro 5** - Evolução do conceito de Centro de Gravidade nos alunos

Atividades	Aluno A	Aluno B	Aluno C	Aluno D
Círculo e Retângulo Atividade1	"Intersecção das diagonais que determinam um único ponto"	"É ponto central da figura que distribui igualmente as massas"	"É o encontro das diagonais"	"É o ponto onde consegui equilibrar as figuras na mão, o ponto central"
Círculo Retângulo e Triângulo Atividade 1	"É o mesmo conceito anterior"	"O centro de gravidade é o ponto onde a figura permanece em repouso quando apoiada somente nele"	"Para o triângulo não vale o ponto central"	"É o ponto onde o corpo fica parado e depende da área"
Boneco equilibrista com a massinha de modelar Atividade2	"É onde se equilibra"	"A concentração de massa altera o ponto de equilíbrio para mais perto, quanto maior a concentração de massa mais próxima estará o centro de gravidade"	"A distribuição do boneco não é como a das figuras planas. ele tem braços mais longos em comparação as pernas e ainda tem cabeça"	"É o ponto que permite compensar distância e área para o corpo não girar"
Boneco equilibrista e triângulo Atividade 3	"Nos dois o centro de gravidade não está no centro"	"O centro de gravidade depende da distribuição de massa e, portanto, da distância"	"Você pode traçar diagonal e onde se encontram pode ser o centro de gravidade, mas isso não vale para tudo entre a massa e a distância atuando para obter o ponto de equilíbrio"	"O centro de gravidade é o ponto que faz o corpo ficar parado, que depende do formato, da quantidade de peso, e da distância"

Joaninha teimosa Atividade 4	“O centro de gravidade é onde o corpo fica parado”	“O centro de gravidade depende da forma espacial, distância, massa, e simetria”.	“O centro de gravidade não precisa estar no corpo, é qualquer coisa que faz o corpo não girar”	“O centro de gravidade é um conceito amplo que depende de vários fatores, tais como: massa, geometria, distância e talvez mais alguma coisa que ainda não descobri”
---------------------------------	--	--	--	---

Fonte: Autora.

Ao avaliarmos a maneira que os alunos avançaram na elaboração dos conceitos percebemos que conseguiram, por meio da troca de conhecimento entre eles, alcançar a condição de construtores de conhecimentos consolidando observações e informações que vão de encontro às suas crenças, permitindo a transformação desse conhecimento através da capacidade de estabelecer comparações cada vez mais complexas a ponto de construir um conceito mais amplo e potencialmente mais significativo.

## Capítulo 5

### Considerações Finais

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento e a aplicação de uma sequência didática baseada em um modelo construtivista voltado para o aprendizado do conceito de Centro de Gravidade. Essa sequência foi construída com base em um modelo fractal que Piaget e colaboradores denominaram tríades piagetianas, formado pelas etapas intra, inter e trans objeto. A realização dessa atividade revelou que a maneira provocativa e instigadora de condução das aulas e a postura mediadora do professor foram capazes de colocar o aluno como sujeito ativo no processo de construção do seu próprio conhecimento.

Nossa análise foi dividida em dois momentos distintos, porém complementares. No primeiro momento, buscamos analisar a sequência didática, a forma como foi estruturada e a maneira que o conceito de Centro de Gravidade evoluiu na perspectiva construtivista. O outro momento foi centrado no aluno, na maneira como se dava a apropriação desse conceito à medida que avançávamos nas atividades.

A sequência didática foi planejada com o propósito de avaliarmos qual o conceito de Centro de Gravidade que o aluno conseguiria construir ao passar pelo conjunto de atividades orientadas por níveis e etapas de apropriação do conhecimento. A escolha das atividades seguiu a ordem que julgamos ser relevante na perspectiva metodológica construtivista que norteia o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, o aluno é levado a construir o conceito de Centro de Gravidade a partir do centro geométrico de figuras planas (círculo, retângulo). Em seguida, ele é desafiado a confrontar os conhecimentos adquiridos na transposição para um triângulo. Com isso, o conceito anterior passa a ser limitado, surgindo à necessidade de uma reformulação. Na atividade seguinte, o boneco equilibrista representa a figura plana não regular, com distribuição irregular de massa, ampliando as possibilidades de intervenções e expandindo os limites das observações anteriores. O conhecimento de que o centro geométrico das figuras é o Centro de Gravidade vai sendo gradativamente transformado e novos elementos como massa e distância passam a coexistir na estrutura cognitiva dos alunos,

acomodando novas estruturas produzidas durante as aulas, colaborando na construção de uma complexa rede de informações por assimilação.

A introdução da massinha de modelar e a comparação das medidas feitas no corpo humano em relação à distribuição de massa, juntamente com as características percebidas no triângulo apontam para a importância da atuação do professor no sentido de buscar a equilibração das ideias formuladas pelos alunos, sintetizando as informações, criando possibilidades para que eles percebam a necessidade de reformular suas ideias, transformando, ampliando e acomodando novas descobertas.

Com a última atividade, a joaninha teimosa, foi possível extrapolar os limites das figuras planas, passando ao espaço tridimensional. Assim, abriu-se a possibilidade da discussão avançar na busca pela localização e pela compreensão do conceito de centro de gravidade. No decorrer das atividades os alunos demonstraram entendimento em outros conceitos, como o de equilíbrio estável, instável e indiferente. A própria ideia de “Torque” aparece constantemente em suas falas quando expressam a necessidade de relacionar a distribuição de massa com a distância, o que é acentuado na atividade com o boneco equilibrista.

Através da joaninha teimosa tivemos a oportunidade de refletir sobre a expressão “Centro de Gravidade” ao recortar o centro do círculo transformando-o em uma arruela. A circunferência que delimita a coroa circular interna, assim como a circunferência que delimita a joaninha teimosa, são exemplos de lugares geométricos que permitem o corpo permanecer em equilíbrio ao ser solto sobre uma base de apoio. As informações observáveis da joaninha foram sendo transformadas progressivamente, mas de forma provisória, uma vez que buscamos deslocar o olhar da joaninha na busca por outras regularidades observáveis na arruela. Isso permitiu uma recursividade necessária no processo educacional ao fazer o aluno apreender informações em contextos diferentes contribuindo para garantir os diferentes níveis de compreensão.

Com o desenvolvimento da sequência didática percebemos que o interesse e a compreensão dos alunos foram conduzindo a aula e, enquanto professora daquela turma, passei apenas a pensar junto com eles, mas não por eles. Com isso, minha capacidade de compreensão e de estimulação dos alunos foi sendo ampliada no decorrer das aulas, o que me leva a considerar que o modelo utilizado pode ser

extrapolado para outros conhecimentos, permitindo que os alunos possam trilhar o caminho de novas descobertas.

Conforme relatado no item 3.2.2, a aplicação da sequência didática aconteceu em duas turmas do segundo ano do Ensino Médio com características diferentes. Porém, na descrição da aplicação não diferenciamos as turmas porque a proposta metodológica construtivista não pressupõe a comparação de sujeitos; a preocupação central é buscar os entendimentos possíveis, independente dos problemas de aprendizagens e refletir sobre as concepções dos alunos e aumentar a qualidade das intervenções.

Após a aplicação da sequência didática os alunos relataram que nunca haviam feito uma atividade na qual eles próprios pudessem construir o entendimento dos conceitos, achavam aquilo estranho e, no início, tiveram muita dificuldade para expressar o que percebiam, pois estavam acostumados a receber a definição pronta do professor ou do livro didático. Acrescentaram que essa oportunidade possibilitou aproximar a ciência do mundo real, conferindo significados e revelando a importância daquilo que se aprende.

Quanto à apropriação do conceito de centro de gravidade, percebemos que foi algo que se construiu de forma gradativa e não acumulativa, uma vez que sua apropriação se deu a partir de um processo de equilíbrio e desequilíbrio. Ao reformular o conceito anterior, em qualquer das atividades, os alunos não refutavam o conhecimento que já possuíam. A evolução natural estava amparada na comunicação daquilo que já se conhecia, de um conhecimento em evolução entre o de senso comum e o científico. Percebemos que, quanto mais significativo se tornava o conceito por eles compreendido, mais próximo do conhecimento prévio conseguíamos chegar. Foi nessa interface de compreensão que conseguimos acomodar e desenvolver nossas atividades com bons resultados, ora produzindo certezas propositais, ora gerando desconforto e desequilíbrio com a finalidade de conseguir transformar o conhecimento.

Acreditamos que as atividades experimentais aliadas à prática docente são capazes de ampliar as possibilidades de o aluno aprender. Assim, encontramos nas atividades experimentais propostas no livro *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca* (ASSIS, 2008a) uma das motivações para escolha do tema, que organizadas e planejadas numa perspectiva metodológica e teórica construtivista

puderam levar os alunos a desenvolver o entendimento do conceito de centro de gravidade.

Associado a este material potencialmente significativo, tínhamos o conhecimento da pouca importância dada ao conceito de centro de gravidade nas aulas regulares de Física do Ensino Médio, seja em virtude do pouco tempo que o professor possui para cumprir com o programa ou da maneira mecanizada de reproduzir as informações do livro didático. No geral, não se consegue perceber o quanto o aluno, por vezes, fica distante dos objetivos propostos em sala de aula. Acreditamos que, quando o professor transmite o conceito pronto, nega-se ao aluno a oportunidade do pensamento e da reflexão. Se retira deles os elementos fundantes dos quatro pilares para a educação do século XXI apontados pela UNESCO, que abrangem as capacidades de **aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a viver juntos e aprender a ser**.

Na educação é sempre um desafio, uma busca constante de superação, garantir que os estudantes consigam aprender. A dimensão desse desafio pode estar relacionada a vários fatores que vão desde a estrita e imprevisível capacidade de aprender do aluno até os mecanismos que regem as práticas docentes. No entanto, a aplicação da sequência didática permitiu modificar essa realidade ao mostrar para o aluno que a capacidade de aprender emana dele quando estimulado em ambiente propício e de forma adequada.

Sabemos que todo sujeito é capaz de aprender ainda que em momentos diferentes, em intensidades diferentes, considerando também os fatores biológicos, o meio social e a relação entre eles. Assim, percebemos que o professor e a escola, juntamente com a participação da família, são capazes de assegurar a emancipação desses alunos perante a sociedade, conferindo dignidade a cada um deles. Ao professor cabe o comprometimento com o aprendizado do aluno, procurando instigá-lo a ter gosto e vontade de aprender, e não apenas transferir informação. Nessa busca, percebemos a importância da formação continuada, da valorização e da necessidade de materiais de baixo custo para garantir a construção de atividades experimentais que contribuam efetivamente para o aprendizado do aluno.

No contexto específico deste trabalho sentimos falta nos livros didáticos de exemplos práticos para determinar a localização do centro de gravidade que pudessem levar à compreensão do conceito e que fossem de encontro aos interesses dos alunos. Percebemos que o conteúdo a ser discutido não pode ser

importante apenas para o professor, os alunos devem ser inseridos no processo de ensino e aprendizagem de modo ativo. Nesse aspecto, a motivação foi elemento fundamental na realização da atividade aqui descrita.

Com o objetivo de aumentar as possibilidades de encontros significativos entre professores e alunos, entre conhecimento científico e conhecimento da vida cotidiana, entre o saber escolar e o saber social, concluímos que o “como fazer” do professor deve ser orientado por modelos compatíveis com o desenvolvimento cognitivo do aluno, como o modelo fractal que utilizamos, formado pelas etapas piagetianas de construção do conhecimento intra, inter, e trans-objetal.

As vantagens da utilização desse modelo residem no fato de explicitar as formas de entendimento que se pretende alcançar, bem como algumas das possíveis formas intermediárias de compreensão que possam indicar um sentido e uma progressão nas formas de entendimento ao longo das atividades propostas (AGUIAR, 1999, p.87).

A característica recursiva da proposta, ao perguntar aos alunos qual o conceito de centro de gravidade a cada atividade realizada, permitiu que os alunos se deparassem, em vários momentos da aula, com conceitos fundamentais em diferentes níveis de complexidade e em diferentes contextos. Isso possibilitou ajustar o descompasso existente entre o tempo de ensino e o tempo de aprender. Além disso, a oportunidade de relacionar esses conceitos partindo inicialmente das figuras planas regulares, em seguida figuras planas não regulares e, finalmente, num corpo tridimensional fazendo um paralelo com o corpo humano, produziu um diálogo efetivo entre as vivências dos estudantes e a construção dos conceitos científicos.

Por meio da sequência didática elaborada conseguimos “conduzir” as possibilidades de entendimentos dos alunos em níveis superiores aos que imaginávamos, concretizadas nos momentos de instabilidades, das flutuações e do posterior encontro da equilibração das ideias. Ao professor – enquanto agente transformador – coube garantir a capacidade do aluno se desenvolver continuamente no ambiente de sala de aula e, em outros espaços, adotando práticas que valorizam a discussão, a reflexão e a criticidade para a compreensão dos fenômenos físicos. Nesse sentido, quando adotamos uma postura investigativa sendo mais provocadores, passamos a contribuir efetivamente para que a aprendizagem aconteça. A formulação de perguntas que não induzisse respostas prontas e que pudessem dar conta de representar o abstrato de forma mais simples, nos fez refletir sobre a importante ferramenta que é a linguagem no campo da

ciência, em suas diversas manifestações e ainda perceber que através dela pode ser possível ou não atingir o objetivo desejado.

De acordo com a BNCC, um dos objetivos da educação “É promover o desenvolvimento integral dos estudantes, em suas dimensões cognitiva, social, emocional, cultural e física”. Como fazer isso, cabe a cada professor. Quando entramos em sala, cabe a nós decidirmos como ensinar. Por isso é muito importante que essa prática esteja amparada por ações que saiam efetivamente do papel de transmissor do conhecimento para práticas que reconheçam e explorem o papel ativo do aluno na construção do conhecimento.

Por fim, consideramos que este trabalho, como conclusão do mestrado profissional em ensino de Física, cumpriu com seus objetivos ao levar a percepção a importância de ações que as aulas podem prover aos alunos em conformidade com a teoria construtivista, tais como a troca de conhecimento entre os alunos, a condição de construtores de conhecimento, a transformação do conhecimento, a capacidade de estabelecer comparações, de sistematização, de conclusão, de formular e responder perguntas, de serem criativos e de desconstruir conceitos.

## Referências Bibliográficas

AGUIAR JR, Orlando. Mudança conceitual em sala de aula: o ensino de ciências numa perspectiva construtivista. *Dissertação de Mestrado*, CEFET- MG, 1995.

\_\_\_\_\_. Calor e temperatura no ensino fundamental: relações entre o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. In: *Investigações em Ensino de Ciências*, v.4, n.1, 1999.

\_\_\_\_\_.; FILOCRE, João. Modelo de Ensino para mudanças cognitivas: Fundamentação e diretrizes da pesquisa. In: *Pesquisa em Educação em ciência*, v.1, n.1,1999.

ASSIS, André. K. T. *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca*. Montreal: Apeiron, 2008(a). Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. Reflexões sobre o Conceito de Centro de Gravidade nos livros didáticos. In: *Ciência & Ensino*, v. 2, n.2, jun. 2008(b).

CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. *As faces da Física*. 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CARTA EDUCAÇÃO. O ensino tradicional de Física está matando a curiosidade. Entrevista com Eric Mazur. Disponível em: <<http://www.cartaeducacao.com.br/entrevistas/o-ensino-tradicional-de-fisica-esta-matando-a-curiosidade.>> Acesso em 29 set. 2018.

FRANCO, Deborah S. et al. Experimentos no ensino de eletrodinâmica. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (Anais) Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/atas/listaresumos.htm> >. Acesso em: 13 mar. 2018.

GRAF. *Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GRAF)*. Física 1: Mecânica. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. e WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Trad. José Paulo Soares de Azevedo. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

HELENA, Luisa; CARVALHO, Fernanda. *O Peer Instruction e as Metodologias Ativas de Aprendizagem*: relatos de uma experiência no Curso de Direito. Disponível em: <<http://www.publicadireito.com.br/artigos>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

HEWITT, Paul. *Física Conceitual*. 9º ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LEMO, Luiz F. C.; TEIXEIRA, Clarissa S.; MOTA, Carlos B. Uma revisão sobre o centro de gravidade e equilíbrio corporal. In: *Revista Brasileira de Ciências e Movimento*, v.17, n. 4, 2010.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. e WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Trad. José Paulo Soares de Azevedo. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MENEZES, Paulo H. D; BATISTA, Lúcia M.; BERTOLDO, Haroldo L. Modelo de Ensino para Mudança Cognitiva: desenvolvendo o entendimento de campo magnético. *Trabalho de conclusão de curso de especialização*. CECIMG/UFMG, 1997.

- MOREIRA, Marco A. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, mar. 2000.
- NARDI, Roberto. *Pesquisa em Ensino de Física*. 1ª ed. São Paulo: Escrituras, 2004.
- PARANÁ D. N. *Física*. 6ª. ed. São Paulo: Ática, 2004.
- PENA, Fábio L. A. Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula?. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.26, n.4, 2004.
- PIAGET, J.; GARCIA, R. *Psicogênese e História das Ciências*. 1º ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2011.
- RAMALHO JR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. *Os fundamentos da Física*. vol.1. 9ª ed. São Paulo: Moderna, 2007.
- SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. *Física*. São Paulo: Atual, 2003.
- SILVA, J.; SOUZA, J. O ensino de Física em Botucatu. In: *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, 2010.
- SYMON, K. R. *Mecânica*. Trad. Gilson Brand Batista. Rio de Janeiro: Campus, 1982.
- VÁLIO, Adriana B. M. *et. al. Ser Protagonista Box: Física, ensino médio*. 1ª ed. São Paulo: Edições SM, 2014.

## Apêndice A: Produto Educacional

### 1. Descrição da Sequência Didática

#### 1.1. Organização da sequência de ensino

##### 1.1.1. O Modelo Didático

O objetivo desta sequência didática é propor, organizar e discutir um conjunto de atividades que permita o desenvolvimento progressivo do conceito de “Centro de Gravidade” com base em um modelo cognitivo para mudanças conceituais. Nessa perspectiva metodológica cognitivista construtivista, o aluno é o sujeito construtor do seu conhecimento e o professor é o mediador que desenvolve e orienta os processos para que os alunos atinjam os objetivos pretendidos.

O modelo consiste basicamente em organizar e planejar a intervenção docente tornando-a indispensável para que a apropriação do conhecimento ocorra de forma progressiva e sequencial. Esse modelo deve ser geral o bastante para que possa adequar-se às várias circunstâncias e currículos, mas potencialmente preciso no sentido de garantir os princípios estruturadores para a apreensão do objeto de conhecimento pelo aluno.

Essa apreensão se dá por meio de tríades dialéticas que Piaget e Garcia (1984) denominam de etapas INTRA, INTER E TRANS, que em cada nível do conhecimento busca responder às três perguntas fundamentais: O que é isso?; Como isso funciona?; Como podemos explicar?

Cada uma dessas etapas tem um objetivo específico.

**INTRA:** é o primeiro nível de entendimento que confere qualidades observáveis aos objetos e que são capazes de conferir sentido à experiência ao privilegiar tais características.

*Exemplo:* o círculo e o retângulo que serão utilizados na atividade possuem centro geométrico determinado pela intersecção de retas ou por dobraduras. São figuras planas, possuem simetria e apresentam características observáveis semelhantes, no que se refere à indicação do Centro de Gravidade.

O planejamento da sequência didática para o desenvolvimento do conceito de centro de gravidade sugere, nesse primeiro momento, que o aluno seja capaz de

identificar características semelhantes entre as figuras, podendo traçar diagonais, usar dobraduras, valendo-se de elementos observáveis.

**INTER:** é o segundo nível de entendimento, é a etapa inter-objetal que está apoiado nas construções anteriores, à medida em que o sujeito passa a coordenar e comparar objetos, estabelecendo as relações e as transformações possíveis.

*Exemplo:* O aluno consegue perceber que o círculo e o retângulo, apesar de serem figuras diferentes, apresentam características comuns quanto a determinação de seu centro e da relação deste com o ponto de equilíbrio da figura.

**TRANS:** é o terceiro nível de entendimento. Nele o aluno submete as relações e transformações do nível precedente a uma estrutura de conhecimento que as engloba e justifica/explica. É o nível de compreensão mais articulado, em que o modelo teórico permite prever e demonstrar e não apenas produzir simples constatações.

*Exemplo:* A partir das etapas precedentes os alunos concluem que o centro de gravidade do círculo e do retângulo coincide com o centro geométrico dessas figuras.

O fechamento de uma etapa TRANS abre uma nova etapa INTRA de um novo nível de entendimento, fazendo com que o conhecimento adquirido evolua para níveis de maior complexidade.

*Exemplo:* No momento em que se insere o triângulo (atividade dois), os alunos irão perceber que nem sempre o centro geométrico coincide com o centro de gravidade. A partir dessa constatação é necessário reformular o modelo explicativo anterior e assim sucessivamente.

### *1.1.2. Orientações gerais para o desenvolvimento da sequência didática*

- A sequência didática foi elaborada para ser desenvolvida em quatro aulas de 50 minutos. Porém, o professor poderá adequá-la da forma que lhe for mais conveniente.
- Sugerimos que as turmas sejam divididas em grupos de 4 a 6 alunos e, para aproveitar melhor o tempo, os moldes necessários à realização das atividades sejam levados recortados.
- O professor não deve entregar nenhum roteiro para os alunos durante a realização das atividades. Os roteiros de atividades que serão apresentados

na próxima seção servem apenas para a orientação do professor que poderá adaptá-los de acordo com suas necessidades.

- Nos Anexos B e C estão todos os moldes das figuras com as dimensões apropriadas para realização das atividades em sala de aula.
- No final de cada aula recolha os materiais, pois serão reutilizados na aula seguinte.
- Faça registros de suas aulas (podem ser fotográficos). Isso poderá ajudar a orientar as próximas ações.

**As aulas podem ser organizadas da seguinte forma:**

- Aula 1 – O Centro de Gravidade das figuras planas regulares círculo, retângulo e triângulo: *Atividade 01*.
- Aula 2 – O Centro de Gravidade de figura plana não regular: O Boneco Equilibrista: *Atividade 02*.
- Aula 3 – Transpondo o Centro de Gravidade: O Boneco Equilibrista, o Triângulo e o Corpo Humano: *Atividade 03*.
- Aula 4 – O Centro de Gravidade de um objeto Tridimensional – A Joanelha Teimosa: *Atividade 04*.

OBS.: A *Atividade 05* (Retomando o conceito de Centro de Gravidade) poderá ser utilizada no momento que o professor julgar mais adequado.

**Figura 1: Material Utilizado**



Fonte: autora

## 1.2. Roteiros de atividades

### Atividade 01

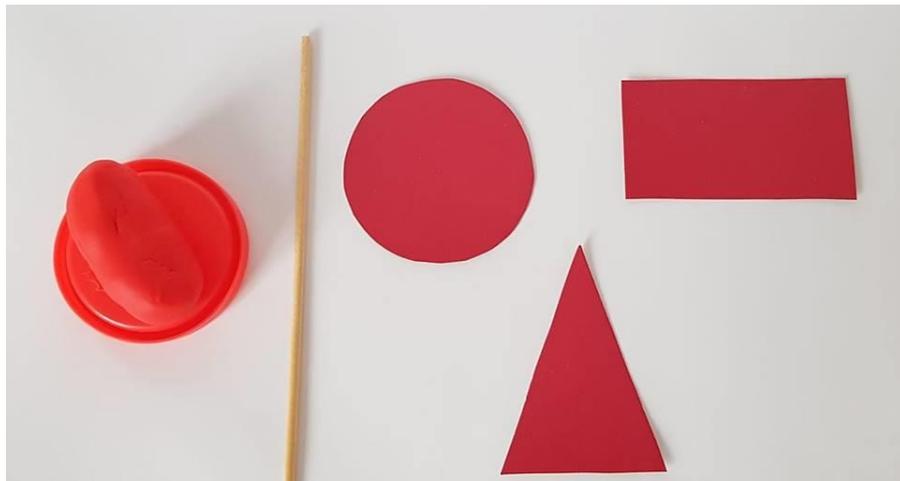
*O Centro de Gravidade de figuras planas regulares: círculo, retângulo e triângulo.*

#### Material necessário

- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do círculo, retângulo e do triângulo.
- Molde no papel cartão do círculo, retângulo e do triângulo.
- Massinha de modelar para ser usada como base no suporte.

#### Desenvolvimento da atividade

**Figura 2:** Materiais entregues aos alunos



Fonte: Autora.

#### Parte 01:

Entregue o molde em papel sulfite do círculo e do retângulo e peça aos alunos que identifiquem o centro dessas figuras e marque-os com a letra X. Lembre-se que a tarefa é dos alunos e que são eles que irão definir a forma como isso será feito.

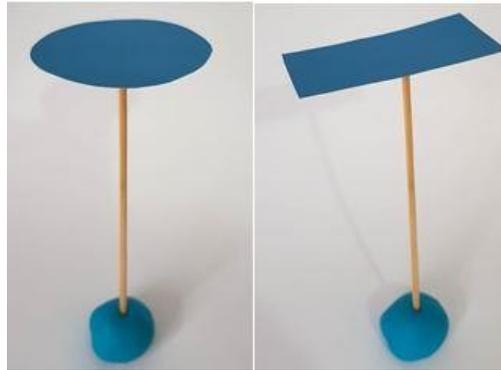
#### Questões para discussão:

1a) Como vocês fizeram para localizar o Centro dessas figuras? Descreva as etapas e os procedimentos realizados.

1b) Traçar uma diagonal no círculo é a mesma coisa que traçar uma diagonal no retângulo? Por quê?

Entregue o molde no papel cartão do círculo e do retângulo e o suporte vertical de palito de churrasco com a massinha de modelar.

**Figura 3:** Molde no papel cartão em equilíbrio sobre a base



Fonte: Autora

Peça para os alunos tentarem equilibrá-los na horizontal sobre o suporte vertical e marcar o ponto em que as figuras permanecem em repouso em relação à Terra com a letra X.

Questões para discussão:

- 1.c) Compare o ponto X da figura de papel cartão com o da figura no papel sulfite. Há alguma relação entre eles?
- 1.d) Que conclusões vocês podem chegar a partir dessas observações?
- 1.e) Que nome vocês dariam ao ponto X assinalado nas duas figuras?
- 1.f) Como vocês caracterizam o ponto X das duas figuras?

Parte 2.

Entregue o molde no papel sulfite do triângulo e peça aos alunos para determinar o centro da figura e assinalar com um X. Após algum tempo, peça a cada grupo para explicar como fizeram isso.

Entregue o molde do triângulo no papel cartão já recortado e peça que os alunos tentem equilibrá-lo na horizontal apoiando-o sobre o suporte vertical de palito e marcar com X o ponto onde isso é possível. Em seguida peça que comparem o ponto assinalado no papel sulfite com o que foi assinalado do papel cartão.

**Figura 4:** Triângulo em equilíbrio sobre a base



Fonte: Autora

Questões para discussão:

- 2.a) O que acontece no caso do triângulo em relação ao círculo e ao retângulo quando comparamos os pontos de equilíbrio? Por quê?
- 2.b) É possível traçar uma diagonal no triângulo? Por quê?
- 2.c) Como vocês denominam o ponto em que o triângulo fica em equilíbrio ao ser solto do repouso sobre o palito?
- 2.d) Qual a diferença desse ponto com aqueles assinalados no retângulo e no círculo?
- 2.e) Com o entendimento adquirido, até o momento, como vocês caracterizam o ponto em que as figuras ficam em equilíbrio sobre o palito? Por quê?
- 2.f) A partir das observações feitas até aqui, como vocês nomeariam o ponto em que as figuras ficam em equilíbrio sobre o palito?

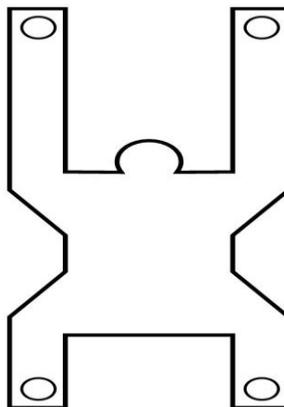
*Atividade 02*

*O Centro de Gravidade de figura plana não regular - O Boneco Equilibrista.*

**Material necessário**

- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Massinha de modelar.
- Barbante de 20cm

**Figura 4:** Boneco Equilibrista



Fonte: Assis, 2008.

### **Desenvolvimento da atividade**

#### Parte 01

Entregue o boneco equilibrista no molde de papel sulfite e peça aos alunos para determinarem o centro do boneco e assinalar esse ponto com um X.

#### Questões para discussão:

1.a) Como vocês fizeram para determinar o centro do Boneco Equilibrista? Descreva as etapas e os procedimentos realizados.

1.b) Traçar uma diagonal no boneco é a mesma coisa que traçar uma diagonal no retângulo ou no círculo? Por quê?

1.c) Que características vocês consideram importantes para determinar o centro do boneco equilibrista. Por que vocês consideram essas características importantes?

#### Parte 02

Entregue o boneco equilibrista no molde de papel cartão, o suporte de palito de churrasco e o barbante. Peça para os alunos tentarem equilibrar o boneco equilibrista na horizontal sobre o suporte, feito de palito e massinha de modelar e assinalar com X o ponto em que o boneco permanece em equilíbrio em relação à Terra. Em seguida, peça que eles comparem esse ponto com a marcação inicial realizada no molde de papel sulfite.

**Figura 5:** Boneco equilibrista em equilíbrio sobre a base



Fonte: Autora

Questões para discussão:

2.a) Os pontos são coincidentes? Por quê?

2.b) A localização do ponto de equilíbrio está de acordo com a suposição inicial do grupo? Por quê?

2.c) Vocês conseguem estabelecer alguma relação entre a distribuição da massa do boneco equilibrista e a localização da posição de equilíbrio do boneco. Essa relação foi observada também nas outras figuras planas (retângulo, círculo e triângulo)? Explique.

2.d) Como vocês conceituam o ponto de equilíbrio do boneco (e das outras figuras) a partir das observações feitas?

Parte 03

Prenda uma borracha (ou um pedaço de massinha de modelar) numa extremidade do barbante e amarre a outra extremidade no palito de churrasco.

**Figura 6:** Fio de prumo



Fonte: Autora

Passe o palito por um dos furos da mão do boneco equilibrista e apoie-o sobre uma mesa de modo que o boneco e o barbante possam pender livremente. Tracem uma linha vertical no boneco que coincida com o barbante esticado. Repita o procedimento pendurando o boneco pelo furo da outra mão.

**Figura 7:** Localização do ponto de equilíbrio



Fonte: Autora

Questões para discussão:

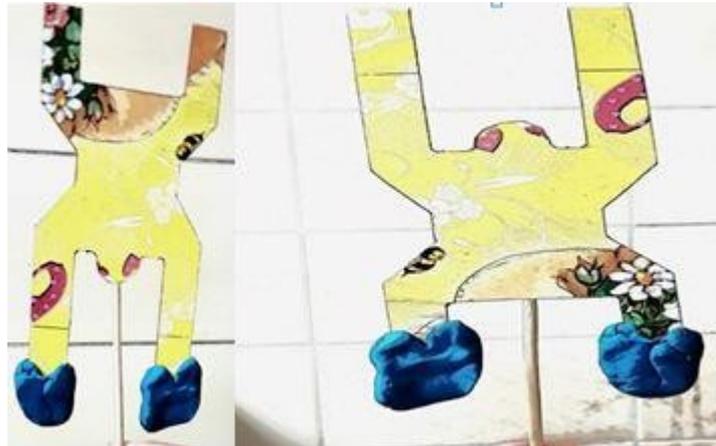
- 3.a) O que você observa ao efetuar esse procedimento?
- 3.b) A intercessão das duas linhas traçadas coincide com o ponto de equilíbrio do boneco? Por que vocês acham que isso acontece?

Parte 04

Agora vem a parte mais interessante da brincadeira. Tentem equilibrar o boneco de cabeça para baixo ou sentado sobre o suporte de palito de churrasco (não vale trapacear).

Peça aos alunos para repetirem o procedimento utilizando uma pequena quantidade de massinha de modelar nas extremidades do boneco (mãos ou pés).

**Figura 19:** Boneco sentado e de cabeça para baixo em equilíbrio na base de apoio



Fonte: Autora

Questões para discussão:

- 4.a) O que vocês podem constatar das duas tentativas?
- 4.b) Existe mais algum ponto do boneco que permite a ocorrência do equilíbrio?
- 4.c) O que aconteceu com o ponto de equilíbrio do boneco quando adicionamos a massinha de modelar?
- 4.d) A partir das atividades realizadas até agora, reconstrua as características e a forma como o seu grupo conceitua a posição de equilíbrio do boneco, sem e com a adição da massinha de modelar.

*Atividade 03*

*Transpondo o centro de gravidade de figuras planas: O Boneco Equilibrista e o Triângulo, para o Corpo Humano.*

**Material necessário**

- Palito de churrasco.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do triângulo.
- Massinha de modelar.
- Fita métrica

## **Desenvolvimento da atividade**

### Parte 01

Distribua novamente o suporte (palito + massinha de modelar), o boneco equilibrista no molde de papel cartão e o triângulo no molde de papel cartão.

### Questões para discussão:

1.a) Quais as semelhanças e diferenças observadas no equilíbrio do triângulo e do boneco equilibrista, com e sem a massinha?

1.b) Que elementos determinam o comportamento do equilíbrio desses objetos?

### Parte 02

Solicite a participação de dois alunos: uma menina e um menino. Com o auxílio da fita métrica, meça a altura de cada um do topo da cabeça a sola dos pés. Depois peça a eles para esticarem os braços sobre as cabeças e meça a distância entre a ponta do dedo médio e a sola dos pés dos dois alunos modelos.

**Figura 8:** Equilíbrio do corpo humano



Fonte: Autora

### Questões para discussão:

2.a) Onde vocês esperam que esteja localizado o ponto de equilíbrio no menino e na menina? Por quê?

2.b) Que medidas vocês esperam encontrar em relação ao ponto descrito no item 2.a)?

2.c) Submeta os alunos aos desafios indicados no Anexo A.

2.d) Com base nas observações feitas, reelabore a conceituação e caracterização da localização do ponto de equilíbrio para o Corpo Humano.

**Atividade 04:**

*O centro de gravidade de um objeto Tridimensional (joaninha teimosa)*

**Material utilizado**

- Palito de churrasco
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Joaninha Teimosa
- Semiesfera de isopor, pequena.
- Bexiga vermelha para revestimento
- Canetinha preta para fazer as bolinhas, olhos e boca da joaninha.
- Chumbada (10 a 15 gramas)
- Círculo no molde de cartão (opcional).

**Desenvolvimento da atividade:**Parte 01

Construa três joaninhas teimosas com distribuição de massa diferentes, seguindo as instruções do Anexo D. Coloque-as sobre uma mesa e explore junto aos alunos as possibilidades de equilíbrio de cada uma delas.

**Figura 9:** Joaninhas

Fonte: Autora e Menezes

Questões para discussão:

1.a) De acordo com o que vocês observaram, onde está localizado o Centro de Gravidade de cada uma das joaninhas?

1.b) Qual(is) joaninha(s) vocês consideram que conseguiriam apoiar sobre a base de palito de churrasco? Por quê?

1.c) Que experiências vocês sugerem para determinar a localização do centro de gravidade de cada uma das joaninhas?

**Figura 10:** Posições de Equilíbrio

Fonte: Autora

### Parte 2

Pegue a joaninha que tem o centro de gravidade localizado na periferia do círculo da base, coloque-a de cabeça para baixo e segure-a apoiada com o seu dedo indicador.

**Figura 11:** Joaninha virando cambalhota

Fonte: Menezes.

Solte-a rapidamente e peça aos alunos para observarem o que acontece (aqui é interessante que se tenha, pelo menos, uma joaninha por grupo).

### Questões para discussão:

- 2.a) Por que a joaninha “teima” em não ficar de cabeça para baixo?
  - 2.b) Qual a relação entre esse comportamento e a posição do Centro de Gravidade da joaninha? (Deixe que os alunos explorem as outras joaninhas).
- Entrega da joaninha para cada grupo e do círculo no molde de sulfite.

**Atividade 05:**

*Retomando o conceito de centro de gravidade numa figura plana: O círculo e a arruela.*

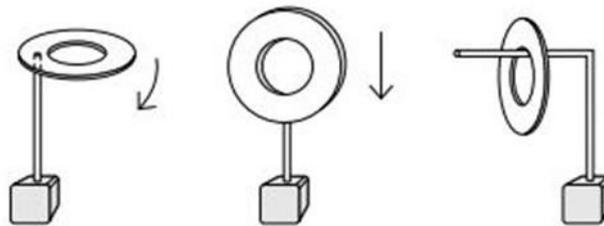
**Material utilizado**

- Palito de churrasco
- Círculo no molde de cartão.

**Desenvolvimento da atividade:**

Peça aos alunos para os alunos novamente indicarem com um X a posição do Centro de Gravidade do círculo de papel cartão. Em seguida, peça para eles recortarem a parte central do círculo, transformando-o em uma arruela.

**Figura 12:** Arruela em equilíbrio



Fonte: Autora

Questões para discussão:

- 1.a) Onde está o centro de gravidade da arruela de papel cartão?
- 2.b) Que experiência você sugere para provar que o Centro de Gravidade está no local indicado no item 1.a)?
- 3.c) Que conceito de “Centro de Gravidade” é possível construir depois da realização dessa sequência de atividades?

## Referências Bibliográficas

AGUIAR JR, O. - As três formas da equilibração: Análise do material didático de um curso de eletricidade básica. In: *Caderno Cat. Ensino de Física*, v.16, n.1, p.72-91, abr. 1999.

AGUIAR JR., O. & SARAIVA, JOÃO F. Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Fundamentação e Diretrizes de Pesquisa (Ensaio). In: *Pesquisa em Educação e Ciência*, v. 1, n.1, 1999.

ASSIS, André. K. T. Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca. Montreal: Apeiron, 2008(a). Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

BATISTA, Lúcia M.; MENEZES, Paulo H. D.; BERTOLDO, Aroldo L. Modelo de Ensino para Mudança Cognitiva: desenvolvendo o entendimento de campo magnético. *Trabalho final de curso de especialização em ensino de ciências*. Centro de Ensino de Ciências da UFMG, 1998. Impresso.

## Anexo A

### Atividades lúdicas de equilíbrio

#### Equilíbrio do Corpo Humano<sup>2</sup>

Várias brincadeiras interessantes podem ser feitas relacionadas ao equilíbrio de um ser humano. As pernas e os braços de uma pessoa podem se deslocar de maneira independente do peito. Os braços, por exemplo, podem ficar para cima, para baixo, para frente, para trás, esticados, presos junto ao peito, etc. Tudo isto altera a posição do Centro de Gravidade de uma pessoa.

Vamos inicialmente analisar situações em que uma pessoa esteja em pé sobre uma superfície plana. O CG está então sobre o solo. Como já vimos, só é possível um equilíbrio nesta situação quando o CG está verticalmente acima da superfície de apoio. Quando uma pessoa está em pé seu CG está aproximadamente no meio do seu peito. Ela vai conseguir ficar equilibrada enquanto a projeção vertical do CG estiver dentro da região limitada por seus pés (Figura 1). Quando a pessoa abre as pernas, aumenta esta região. Com isto amplia-se a estabilidade de seu equilíbrio.



Figura 1: Região de equilíbrio para uma pessoa em pé.

a) Uma primeira brincadeira é solicitar que uma pessoa na classe toque os pés com as mãos, sem dobrar os joelhos. Depois que ela faz isto, solicita-se que repita o procedimento. Só que agora de costas para uma parede, com os calcanhares encostados na parede.

b) Outra brincadeira é a de se equilibrar sobre um pé afastando a outra perna lateralmente para fora do corpo. Todos conseguem isto. Solicita-se então que a pessoa repita o procedimento, mas agora com o primeiro pé e o ombro encostados de lado em uma parede.

---

<sup>2</sup> Adaptado de Assis (2008, p. 113-115). Disponível em: <<https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf>>. Acesso em 19 jul. 2018.

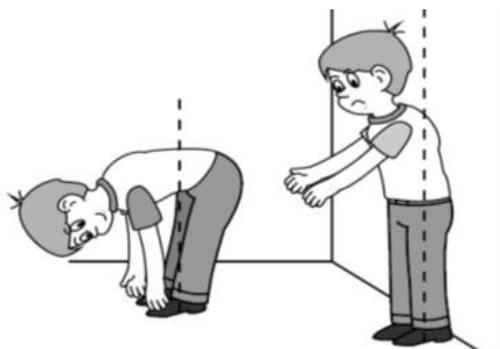


Figura 2: Pessoa em equilíbrio tocando os pés com as mãos

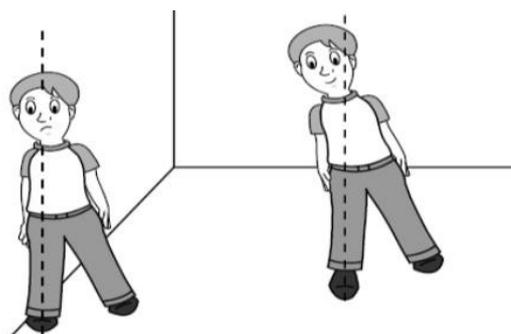


Figura 3: Pessoa se equilibrando sobre um pé.

c) Uma terceira brincadeira que segue o mesmo princípio é a de solicitar que alguém fique na ponta dos pés, levantando os calcanhares e depois solicitar que a pessoa repita o procedimento encostando a ponta dos pés e o nariz em uma parede.

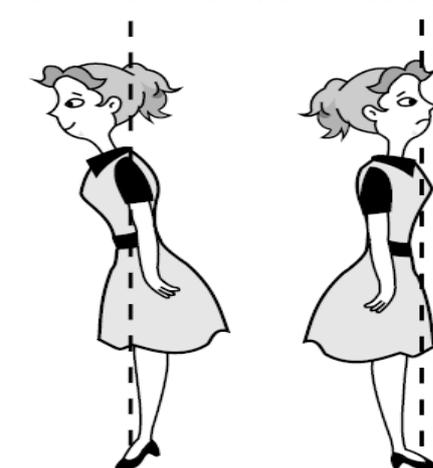


Figura 4: Pessoa se equilibrando na ponta dos pés.

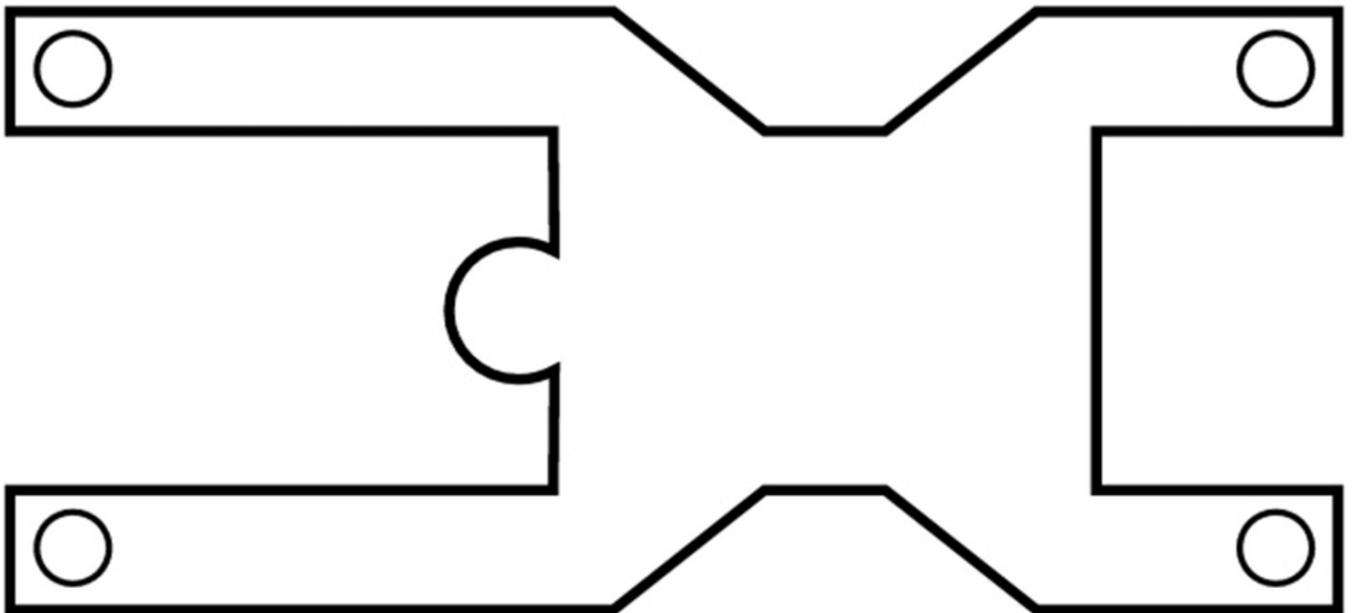
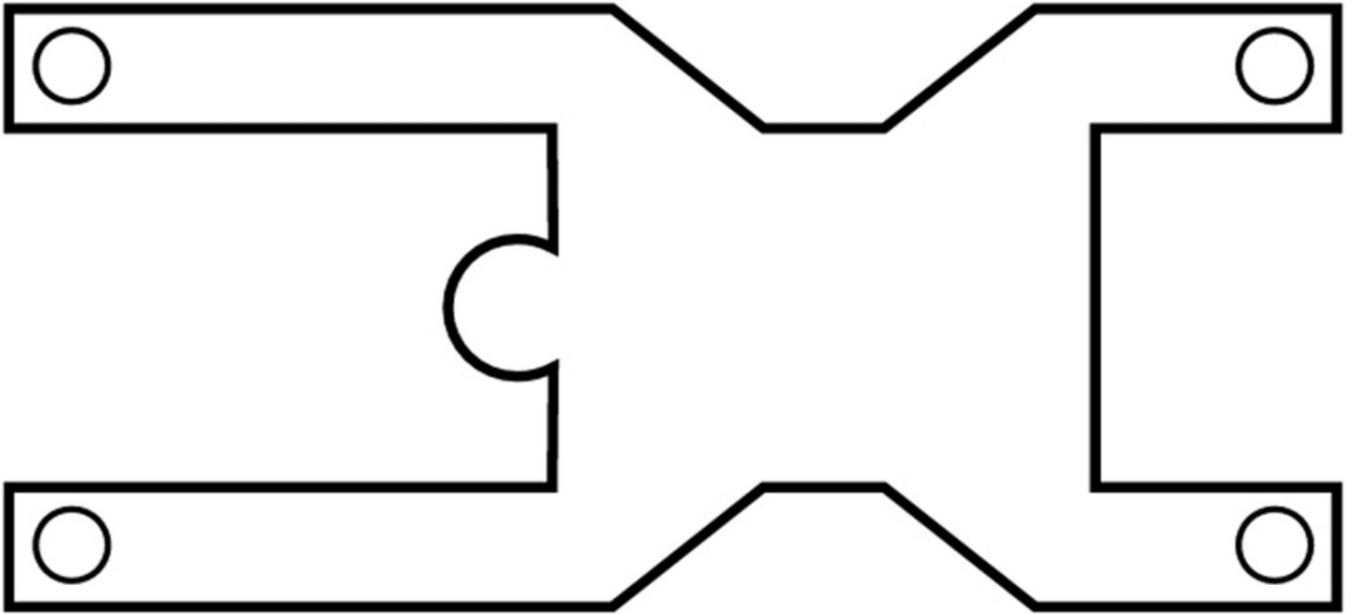
d) Uma das experiências mais interessantes mostra uma distinção na localização dos centros de gravidade de mulheres e de homens. Devido ao quadril mais avantajado, a maioria das mulheres possui um CG um pouco mais baixo do que o CG dos homens de mesma altura. Solicita-se que uma moça fique ajoelhada e apoiada com os cotovelos junto aos joelhos, como se estivesse rezando no chão. Coloca-se então uma caixa de fósforos no chão na ponta dos dedos da moça. Solicita-se que ela agora coloque as mãos para trás das costas e que tente derrubar a caixa de fósforos com o nariz, sem cair, voltando depois para a posição inicial. Depois, solicita-se o mesmo procedimento para um rapaz.



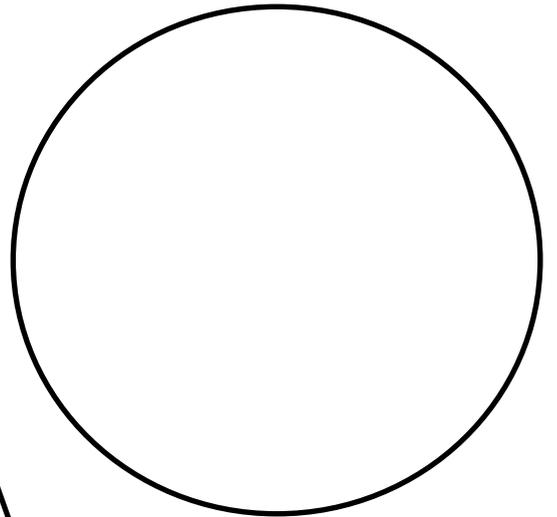
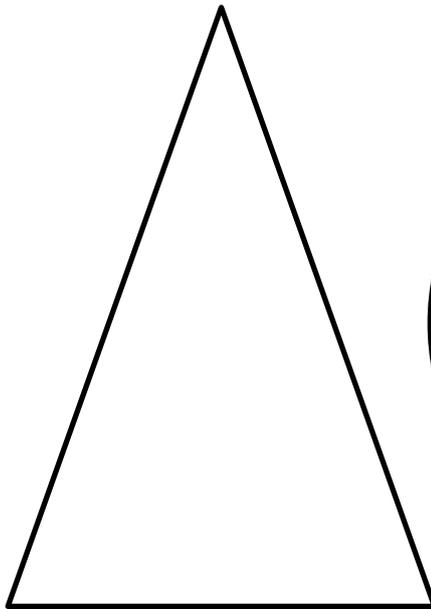
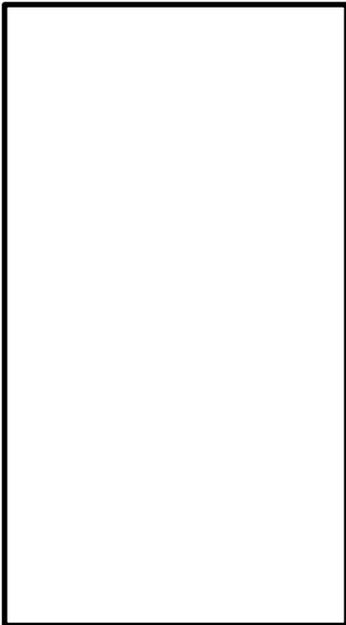
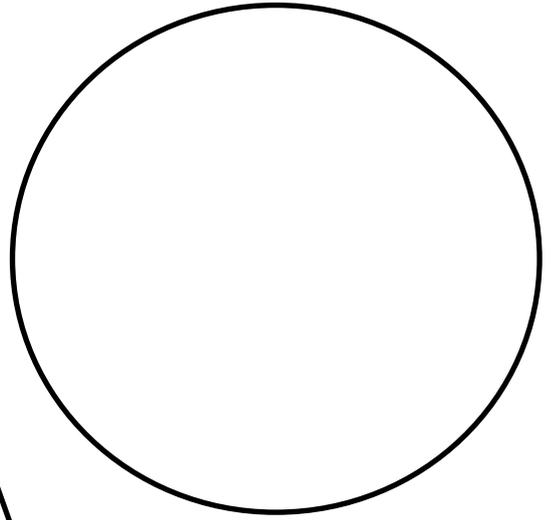
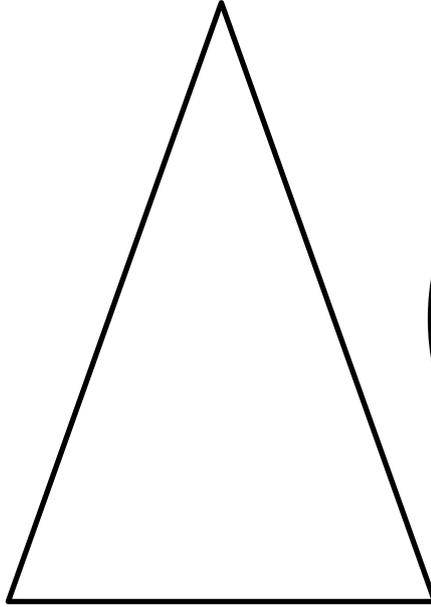
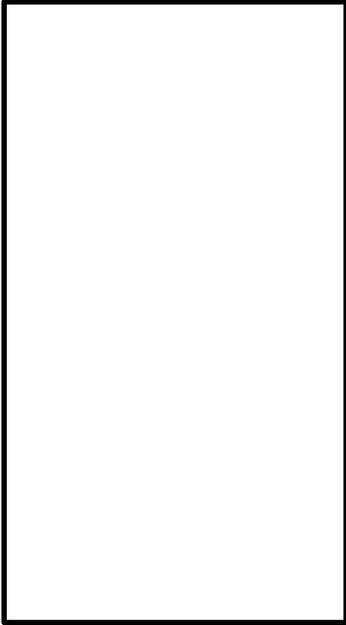
Figura 5: Uma mulher derrubando uma caixa de fósforos.

Outras situações de equilíbrio ocorrem quando o CG de uma pessoa está abaixo de um ponto de sustentação, como no caso de um equilibrista na corda bamba de um circo.

**Anexo B**  
**Molde dos Bonecos Equilibristas**



**Anexo C**  
**Molde das Figuras Geométricas**



## Anexo D

### Construção da Joaninha Teimosa

#### Material utilizado

Figura 1: Material para construção das joaninhas



Fonte: Autora

- $\frac{1}{2}$  esfera de isopor maciça entre 7 e 8 cm de diâmetro
- Chumbada de 10 a 15g (adquirira em lojas de material de pesca)
- Bexiga colorida para encapar a joaninha (nº 8 ou maior)
- Adesivo para decorar (ou fazer pintas com caneta hidrocor)
- Tesoura
- Papel cartão para fazer a base da joaninha
- Cola de isopor (ou cola branca)

#### Montagem da Joaninha

- Faça um furo com um estilete na lateral da base da joaninha para encaixar a chumbada (pode ser feito pressionando com a própria chumbada).

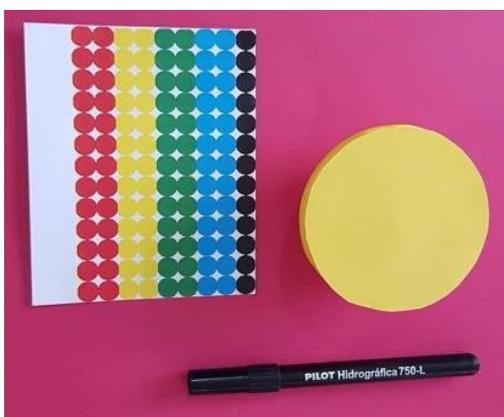
Figura 2: Orifício da lateral da base da joaninha para encaixar a chumbada



Fonte: Autora

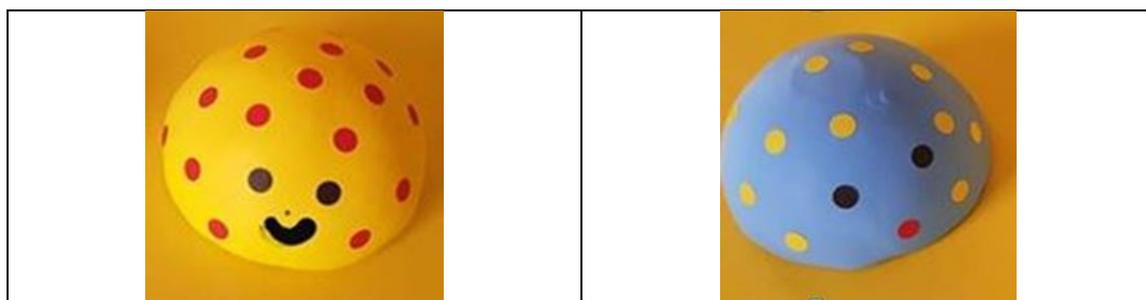
- Insira a chumbada de forma que ela fique nivelada com a base da joaninha.
- Corte um círculo de papel cartão do tamanho da base da joaninha e cole-o de modo a ocultar a chumbada.
- Faça o revestimento da joaninha com a bexiga (corte o bico para ficar mais fácil).
- Decore a joaninha acrescentando pintas, olhos e boca.

Figura 3: Círculo na cartolina e adesivos para colocar na joaninha



Fonte: Autora

Figura 4: Joaninha pronta



Fonte: Autora

Agora, construa outras duas joaninhas, uma com a chumbada no centro da base e outra sem chumbada.

Figura 5: joaninha com a chumbada no centro



Fonte: Autora.