

**EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO:
POTENCIALIDADES NO ENSINO DE FÍSICA**

JOSILANDIA DE OLIVEIRA BEIRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES
DEZEMBRO-2021**

**EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO:
POTENCIALIDADES NO ENSINO DE FÍSICA**

JOSILANDIA DE OLIVEIRA BEIRAL

ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO BATISTA DE SOUSA

**CAMPOS DOS GOYTACAZES
DEZEMBRO-2021**

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Conceito de experimento.....	3
3	Experimentos de pensamento	6
4	Tipos de Experimentos de pensamento	7
5	Experimentos de pensamento na História da Ciência.....	9
	5.1 Experimento de queda livre - Galileu	9
	5.2 Newton – Força centrípeta e movimento planetário.....	10
	5.3 O demônio de Maxwell	11
	5.4 O balde de Newton	12
	5.5 O elevador de Einstein	13
	5.6 O gato de Schrödinger	14
6	Epistemologia dos Experimentos de pensamento	15
7	Experimentos de pensamento no Ensino	24
8	Experimentos de Pensamento e a aprendizagem colaborativa.....	30
9	Vygotsky e a Zona de desenvolvimento proximal.....	32
10	Referencial Metodológico: Investigação Qualitativa	37
11	Objetivos	38
12	Metodologia	39
13	Referências Bibliográficas.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Classificação dos experimentos de pensamento desenvolvida por Brown.....	VIII
Figura 5.1: “Experiência pensada” de Galileu sobre a queda livre de corpos: (a) como a pedra 1 é mais leve que a pedra 2, de acordo com Aristóteles deve cair com menor velocidade; (b) ligando as duas pedras com que velocidades devem ambas cair? (FONTE: TRINDADE, 2011).....	X
Figura 5.2: Experimento de pensamento de Newton. (FONTE: BROWN, 1991).....	XI
Figura 5.3: Experimento de pensamento do Demônio de Maxwell. (FONTE: https://odiferencialdafisica.wordpress.com).....	XII
Figura 5.4: O experimento do balde de Newton (FONTE: TORTOP, 2016).....	Xiii
Figura 5.5: Experimento de pensamento do gato de Schrödinger (FONTE: http://albertepagan.eu/a-toupeira/cinema-galego).....	XV
Figura 9.1: Os três casos da roda d'água.....	XXVII

RESUMO

Os experimentos de pensamento são amplamente utilizados desde a antiguidade em várias áreas, tendo nas ciências físicas, diversos exemplos de sucesso ao longo da história das ciências, como por exemplo, os famosos experimentos mentais da queda dos corpos de Galileu e do elevador de Einstein. Tendo em vista seu êxito ao longo da história, pesquisas apontam a possibilidade de utilização dos experimentos de pensamento no ensino. Evidências sugerem que podem ser observados estudantes e professores desenvolvendo e gerando experimentos de pensamento, os quais auxiliam o desenvolvimento de habilidades que contribuem para gerar questionamentos, analogias, hipótese, situações de conflito mental que promovam a construção dos conceitos envolvidos. Com base nestas pesquisas desenvolvemos estudos de caso utilizando experimentos de pensamento, com alunos do ensino médio em uma escola pública, com o objetivo de compreender como se desenvolvem os experimentos de pensamento com os estudantes e obter evidências de sua realização a partir de seus discursos.

ABSTRACT

Thought experiments have been widely used in various fields since antiquity, having in the physical sciences several examples of success throughout the history of the sciences, such as the famous thought experiments of the fall of the bodies of Galileo and the Einstein elevator. In view of their success throughout history, research indicates the possibility of using Thought experiments in teaching and suggests that evidence can be observed that students and teachers can develop and generate thought experiments. Based on these researches, we develop case studies using thought experiments with high school students of a public school, in order to understand how thought experiments are developed with students and obtain evidence of their realization.

1 INTRODUÇÃO

Na Antiguidade a ciência e a filosofia caminhavam lado a lado, pois neste período não era possível distinguir ambos. Os filósofos buscavam desvendar a natureza por meio da busca pela causa das coisas a partir da noção de finalidade. Buscava-se por meio do pensamento construir a causa, ou seja, o porquê das coisas e sempre procurando relacioná-lo ao seu fim.

Um bom exemplo para ilustrar é a visão que Aristóteles possuía do mundo, na qual corpos e objetos procurariam seus elementos primários e lugares naturais. De acordo com Aristóteles os objetos pesados teriam como elemento primário a Terra e seu lugar natural seria o centro da Terra e, portanto, a tendência destes objetos seria cair. Objetos leves teriam o fogo como elemento primário e o céu o seu lugar natural e, deste modo, sobem. Já os objetos não totalmente leves, o ar é o elemento principal e o espaço seu lugar natural, logo devem subir e os objetos não inteiramente pesados teriam a água como elemento primário e como lugar natural o líquido e, deveriam boiar (HENRY, 1998).

Como se pode observar a ciência era contemplativa, ou seja, os modelos desenvolvidos para explicar os fenômenos voltava-se para a especulação racional e pouca ou nenhuma atenção era designada para a experimentação. As explicações dos fenômenos e as leis do universo seriam um reflexo de um mundo ordenado e perfeito, em que um mundo material e concepções metafísicas e religiosas se misturavam. Esta concepção aristotélica permaneceu por séculos.

Esta visão se mundo começa a sofrer alterações entre os séculos XVI e XVII. Como considera Henry (1998), neste período mudanças significativas e de grande alcance aconteciam na Europa a respeito da visão de mundo, da natureza do mundo físico, da maneira como deveria ser estudado, analisado e representado.

A análise dos fenômenos naturais passam a ser baseados na experimentação, além disto, as leis que regem os fenômenos naturais passaram também ser representadas por modelos matemáticos.

A partir deste período, há uma considerável alteração na maneira como os fenômenos eram explicados, deixando de serem voltados apenas para contemplação e apoiados em argumentos que envolviam crenças e religião. Com a revolução científica, utiliza-se pressupostos alcançados a partir da observação e

experimentação e os fenômenos naturais são representados por modelos que procuram descrevê-los e explicá-los.

Neste período de desenvolvimento da ciência moderna pode-se identificar também outro tipo de experiência, em que as observações não se desenvolvem no mundo físico, mas sim no campo da mente. Estas experiências de pensamento são desenvolvidas na mente do cientista com o objetivo de testar uma teoria desenvolvida anteriormente, prever consequências, reforçar ou refutar argumentos ou até mesmo desenvolver uma nova teoria. Pode-se destacar como exemplos recentes de experimentos de pensamento, alguns relacionados à mecânica quântica e à relatividade.

Os experimentos de pensamento, entretanto, são utilizados desde a Grécia antiga, praticada pelos filósofos que procuram respostas para o mundo físico apenas com experiências praticadas no intelecto.

São extensas as aplicações dos experimentos de pensamento. Conduzidas somente no campo da mente, possuem potencial para desenvolver alguns experimentos controlados e muitas das vezes podem se tornar de grande importância para o desenvolvimento e modificação de teorias.

Atualmente pesquisas apontam a vasta utilização de experimentos de pensamento em diversas áreas e assinalam sua possível utilização para desenvolver o sentido histórico da ciência, sua natureza e seus modelos Matthews (1994), Reiner e Burko (2003), Reiner e Gilbert (2000) e Stephens e Clement (2006).

Pensando nos problemas que cercam o ensino de Física, como a falta de compreensão dos conceitos por parte dos alunos, pensou-se na utilização de experimentos de pensamento. Desta forma alguns questionamentos surgem para a condução desta pesquisa. Como ocorre o processo de construção do conhecimento de Física utilizando experimentos de pensamento? Pode-se obter evidências de que os alunos geram e conduzem seus próprios experimentos de pensamento e, com isso, ampliar seus conhecimentos sobre Física?

A utilização dos EP's pretende promover nos alunos a compreensão de como se desenvolve a ciência, despertar a reflexão no processo de construção do conhecimento, desenvolver a capacidade de observar, analisar, construir hipóteses, testá-las mentalmente por meio das teorias já conhecidas e obter conclusões a respeito do fenômeno analisado.

2 O CONCEITO DE EXPERIMENTO

A definição da palavra experimento consiste em uma prática com o objetivo de descobrir ou determinar um fato, fenômeno ou teoria. O experimentador possui o papel de identificar e manipular variáveis seguindo padrões pré-determinados e específicos, com o objetivo de alcançar conhecimentos que desvendem aspectos referentes à realidade observada nos fenômenos (FACHIN, 2004).

Na antiguidade Grega a utilização da experimentação pôde ser notada a partir dos sofistas, vinculando a experiência à utilização dos sentidos, porém, com a revolução científica, a experimentação sofre alterações profundas.

Nos séculos XVI e XVII a ciência passa por modificações e os fenômenos da natureza passam a ser investigados por meio da experimentação física no mundo concreto. (Henry, 1998).

Neste cenário, ocorreram alterações na sociedade. A necessidade de inovações tecnológicas, percebidas por artesãos da elite, o aperfeiçoamento de técnicas de mineração, construção de grandes igrejas, melhorias de transporte e navegação impulsionaram a construção de instrumentos para estes fins. Equipamentos desenvolvidos por engenheiros e cientistas da época como cabrestantes mecânicos, pêndulos e molas desejavam ser compreendidos pelos intelectuais da época. A necessidade e anseio de entender o funcionamento desses instrumentos desencadearam o processo de transformação do conhecimento e o surgimento da mecânica clássica (RENN, 2008).

Os estudiosos das ciências passaram a investigar os fenômenos e o princípio de funcionamento de diferentes equipamentos por meio de atividades experimentais. Eles realizavam observações, análises e quantificações, representando os fenômenos investigados por leis matemáticas (PALMIERI, 2018).

Galileu Galilei foi um dos investigadores dos fenômenos naturais que deu início a este processo de transformação das ciências. Ele desenvolveu uma visão de que a natureza seria como mecanismo em funcionamento, a qual poderia ser representada pela geometria e os fenômenos da natureza seriam explicados pelo movimento da matéria. Esse movimento foi chamado de mecanicismo.

A ciência de Galileu, assim como a ciência moderna, estava moldando-se na relação entre a prática e conceitos teóricos. Os problemas físicos por ele investigados, eram expressos por representações matemáticas que possibilitavam controlar, testar e avaliar consequências em situações práticas. Com afirmação de Reen

(2008) Galileu desenvolveu inúmeros instrumentos como o telescópio aprimorado a partir da luneta dos holandeses, compasso geométrico militar e a balança hidrostática. Estes instrumentos eram utilizados por ele em investigações científicas, mas também eram vendidos para objetivos práticos.

As obras de Galileu demonstram que ele construía instrumentos e os utilizava para realizar suas investigações. Ele unia o trabalho prático ao trabalho científico, desenvolvendo considerações teóricas a partir dos experimentos. As concepções teóricas desenvolvidas podiam originar princípios e leis natureza, que possibilitavam estabelecer previsões e auxiliar em funções práticas de vários instrumentos (MARICONDA, 2006).

O rigor do método empregado, baseado nos parâmetros a serem seguidos, auxiliou na estruturação do conhecimento produzido nas ciências naturais. Os procedimentos de observação, experimentação e a busca da representação matemática conferiam legitimidade aos resultados alcançados (GOTTSCHELL, 2003).

Galileu colaborou com a consolidação do método científico e a matematização das leis da natureza. Ele distinguiu as qualidades dos corpos em dois tipos: qualidades primárias (forma, número, movimento e contato) e qualidades secundárias (cor, sabor e odor). Galileu considerava que as qualidades secundárias não existiam no corpo a ser observado, mas dependia da análise de quem o observava, sendo passíveis a subjetividades, como alteração das definições de cor ou sabor. As qualidades primárias não dependiam de análises subjetivas, eram características do corpo físico, existentes como elementos que poderiam ser analisados racionalmente, sendo possível de serem tratados e modelados matematicamente (MARICONDA, 2006).

A categorização das qualidades dos corpos evidencia que Galileu procurava eliminar as qualidades subjetivas, concentrando-se no que podia ser quantificado. A natureza tornou-se passível de ser representada por termos quantitativos, ou seja, os fenômenos poderiam ser representados por modelos matemáticos.

Os pensadores Bacon e Descartes, também possuem importantes contribuições que auxiliaram o desenvolvimento e consolidação do método científico. Eles consideravam que os experimentos deveriam ser conduzidos com a utilização limitada das percepções sensoriais, sendo possível construir equações e modelos matemáticos a partir das conclusões obtidas. Para Bacon e Descartes o

conhecimento se desenvolve por meio da observação e experimentação, sendo acompanhado pela construção da hipótese, gerando um processo cíclico, até que ocorram generalizações e assim as leis e teorias possam ser consolidadas (GOTTSCHELL, 2003).

O método científico instituído possibilitou o desenvolvimento da filosofia positivista de Auguste Comte, no início do século XIX. Esta concepção considerava que as leis e teorias científicas seriam alcançadas por meio dos métodos científicos aplicados no desenvolvimento dos experimentos dos fenômenos a serem investigados. Os positivistas acreditavam que o único conhecimento válido seria o obtido pela ciência. Para eles, o método científico possibilitava o conhecimento dos fenômenos, ou seja, da natureza, com isto, acreditavam que o conhecimento científico seria o caminho para o progresso da humanidade.

A experimentação passa a ser utilizada como um instrumento científico, e o método possibilita a replicação, permitindo que leis e teorias possam ser confirmadas ou alteradas, promovendo avanços em diversas áreas do conhecimento, como a Física, Química, Anatomia, entre outras ciências.

A experimentação científica pode ser empregadas de diferentes modos, como exemplifica Oliveira (2002). Inicialmente ele se refere as experiências que ilustram teorias científicas, como era utilizado desde a Antiguidade e Idade Moderna. Este tipo de experimentação era realizada sem a instrumentalização adequada, portanto eram experiências que não possuíam validade para desenvolver argumentos e novas teorias. Os resultados obtidos seriam úteis para compreensão das teorias já estabelecidas, fortalecendo-as e auxiliando na fundamentação dos argumentos que as consolidavam.

O segundo tipo de experimentação científica destacado por Oliveira (2002) são os experimentos de pensamento. As experiências são realizadas no campo da mente, desenvolvendo situações imaginadas, as quais podem desencadear questionamentos e possíveis soluções. Neste tipo de experimento os instrumentos científicos não são necessários, porém, as condições para sua realização devem ser definidas, ou seja, as idealizações são necessárias para sua condução.

A experiência exploratória, o terceiro tipo abordado por Oliveira (2002), se caracteriza por seguir métodos definidos e serem realizados no mundo concreto, não somente no pensamento. Com este tipo de experiência pretende-se investigar situações ainda não verificadas pela ciência, em condições distintas das

averiguadas por experimentos anteriores ou até mesmo por situações que não existam na natureza.

Os diferentes tipos de experiências destacadas por Oliveira (2002) podem ser diferenciados. As segunda e terceira modos de experiência se destinam a abordar situações que estão além da percepção cotidiana e demandam a utilização de métodos específicos, levando a situações e objetos a serem observados, no campo do pensamento ou concreto.

3 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO

O termo *Gedankenexperiment*, foi utilizado inicialmente por Hans Christian Oersted, em 1812, para designar experimentos que deveriam ser conduzidos similarmente aos experimentos realizados no mundo físico. Entretanto o termo só se tornou popular em 1897, com o físico Ernst Mach. O termo foi posteriormente consolidado na língua inglesa como *thought experiment*.

Pela sua grande relevância no meio científico, os EP's foram amplamente discutidos por diversos autores de filosofia das ciências como Mach, (1905/1976), Popper (1959/1999) e Kuhn (1977). Estes autores discutem como ocorre a utilização destes experimentos desenvolvendo ideias a respeito da metodologia das ciências e promovendo uma estrutura para as revoluções científicas ocorridas ao longo da história.

Em 1977 Kuhn em seu artigo "A function for Thought Experiments" afirma que os EP's devem ser reconhecidos como uma ferramenta para aumentar a compreensão do homem sobre a natureza. Para ele o papel dos EP's é ajudar na eliminação da confusão existente inicialmente forçando o cientista a reconhecer contradições a sua maneira inicial de pensar (PEREIRA, 2015).

A utilização dos EP's torna possível analisar teorias já estabelecidas e procurar argumentos para sua modificação, como ocorreu no experimento mental de queda livre de Galileu. Neste experimento mental, Galileu refuta a teoria de Aristóteles de que a velocidade natural de um objeto pesado é mais rápida que a velocidade de um objeto mais leve.

Utilizando os experimentos mentais, torna-se possível testar teorias em construção, desenvolvendo hipóteses no campo da mente, com o objetivo de reforçar argumentos estabelecidos durante o processo de desenvolvimento do experimento mental. Foram muito usados no desenvolvimento da ciência,

principalmente da Física, pois se demonstraram benéficos em vários campos da ciência (BROWN; FEHIGE, 2017).

Alguns autores sugerem que qualquer atividade experimental é também um experimento mental, pois uma atividade experimental que venha a ser desenvolvida no mundo físico por um cientista é antecipadamente realizada em sua mente. O cientista experimental deve pensar inicialmente nos fatores que deseja investigar, quais são os equipamentos necessários, o método que deseja seguir, quais serão os possíveis problemas encontrados durante a realização do experimento, entre outras situações que o cientista reflete de maneira anterior a sua prática efetiva.

Entretanto, durante esta pesquisa pretende-se voltar para as experiências que ocorrem somente na mente, o qual por diferentes razões não se desenvolvem no mundo físico. Os EP's podem ficar no campo da mente por uma escolha do pesquisador ou por uma impossibilidade de execução do experimento, como a ausência de uma metodologia já desenvolvida ou pela inexistência de equipamentos que atendam as necessidades de tal verificação. O EP permanece somente no campo das ideias e sua elaboração envolve um alto grau de reflexão e análise das condições e das teorias envolvidas.

Um dos autores que guia o desenvolvimento desta pesquisa trata-se de James Robert Brown, professor de Filosofia da Universidade de Toronto (Canadá). Este autor publicou em 1991 um livro com o título de *The Laboratory of Mind: thought experiments in the Natural Science*. Neste livro o autor trás vários exemplos conhecidos de EP's realizados na ciência, além de descrever a estrutura destes experimentos, classificá-los e envolver considerações filosóficas a respeito de seu desenvolvimento.

4 TIPOS DE EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO

Os EP's seriam guiados somente pela curiosidade do experimentador? Estes experimentos seguem um padrão definido, ou cada um o desenvolve a sua maneira?

Brown (1991) sugere que os EP's, assim como os experimentos realizados no mundo físico, devem seguir alguns padrões. Por meio dos experimentos físicos pode-se confirmar, ilustrar, desenvolver ou refutar uma teoria e os mentais possuem

características semelhantes que permitem alcançar objetivos análogos a estes experimentos.

Este autor sugere que os EP's podem ser classificados de duas maneiras, como *construtivos* e *destrutivos*.

Os construtivos se dividem em três outros tipos que são: o direto, o conjectural e o mediativo. Sugere que há uma pequena classe que são simultaneamente destrutivos e construtivos diretos e os chama de platônicos.

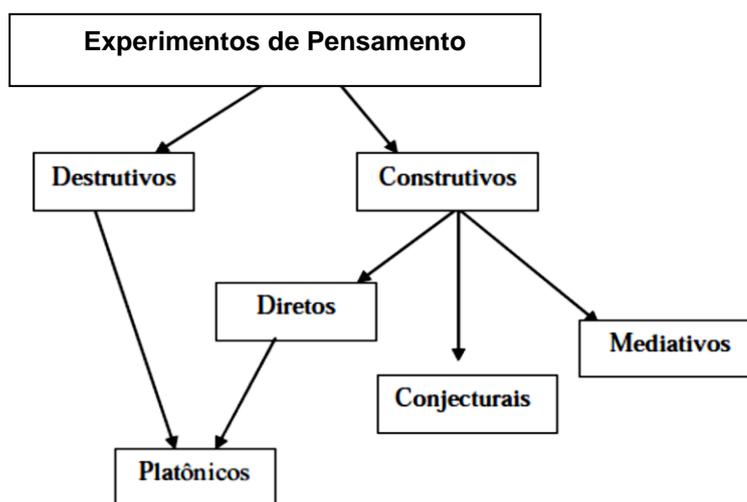


Figura 4.2: Classificação dos experimentos de pensamento desenvolvida por Brown.

O EP *destrutivo* se constitui em um argumento que vai contra uma teoria já estabelecida. Por meio deste, pode-se apresentar problemas, apontar lacunas e até mesmo destruir uma teoria utilizada.

O exemplo de Galileu da queda dos corpos mostrou que a teoria de Aristóteles não estava correta, assim como a experiência do gato de Schrödinger não mostrou que a mecânica quântica é falsa, mas mostra que é contra-intuitiva.

O EP *construtivo* é utilizado para antecipar algum resultado ou até mesmo estabelecer uma nova teoria. Podem se dividir em:

- 1) *Mediativos*: estes experimentos facilitam a conclusão de uma teoria específica e já estruturada. Um dos exemplos fornecidos pelo autor é “O demônio de Maxwell”, um experimento que sugere uma atitude probabilística a segunda lei da termodinâmica.
- 2) *Conjectural*: neste tipo de experimento inicia-se com uma teoria de fundo e o EP é utilizado para desenvolver uma nova hipótese do fenômeno

investigado. Um exemplo seria do “Balde de Newton”, utilizado para confirmar a teoria do espaço e tempo absolutos.

3) *Diretos*: são os experimentos que não partem de uma teoria bem estruturada, mas seu objetivo é alcançar uma teoria. Um experimento que pode ser utilizado é o de Cristian Huygens, que estabelece uma série de leis que regem a colisão de corpos em movimento.

Ainda classifica os experimentos *platônicos*. Estes são ao mesmo tempo destrutivos e construtivos diretos, pois simultaneamente que cercam uma teoria já estabelecida, desenvolve outra.

Após a verificação da taxonomia referente aos EP's desenvolvida por Brown, optou-se por descrever alguns EP's detalhadamente. Através destes experimentos pode-se observar como a sua prática foi e permanece importante para o desenvolvimento científico.

5 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

5.1 Experimento de queda livre - Galileu

Galileu em sua obra de 1632, *Diálogo sobre os Dois Sistemas do Mundo*, descreve o experimento da queda dos corpos. Inicialmente pensou em uma bola de canhão anexada a uma bola mais leve (um mosquete leve) e analisa as possibilidades de queda dos corpos juntos segundo a teoria aristotélica. De acordo com esta teoria, a bola mais leve desaceleraria a mais pesada, ou seja, a velocidade do sistema das duas bolas seria mais lento do que a velocidade de queda da bola mais pesada individualmente. Porém alguns questionamentos surgiram durante o experimento mental. Porque não é possível que o sistema caia com uma velocidade superior a queda do corpo mais pesado, já que os dois corpos estão ligados e por isso possui maior massa?

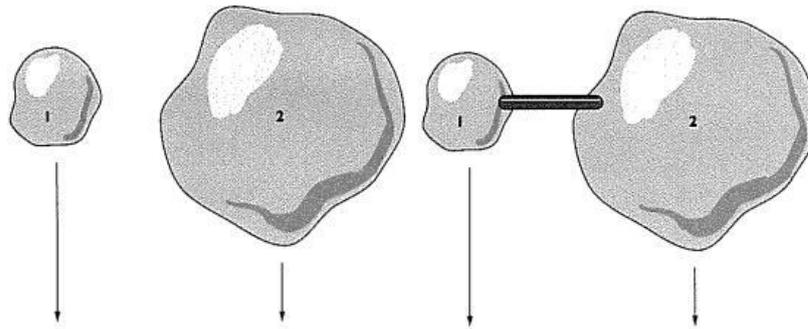


Figura 5.1: “Experiência pensada” de Galileu sobre a queda livre de corpos: (a) como a pedra 1 é mais leve que a pedra 2, de acordo com Aristóteles deve cair com menor velocidade; (b) ligando as duas pedras com que velocidades devem ambas cair? (FONTE: TRINDADE, 2011)

Sendo o sistema mais pesado, de acordo com a teoria de Aristóteles, as duas bolas deveriam cair com maior velocidade. Desta forma a teoria aristotélica é derrubada. Entretanto qual seria a teoria aceita? Qual das duas bolas deveria cair mais rápido? A resposta para estes questionamentos é que as duas caem com a mesma velocidade.

Através do experimento de Galileu pode-se destacar dois fatores: primeiro, refutou a visão de Aristóteles de que objetos mais pesados caem mais rápido e segundo, estabeleceu uma nova teoria, que todos os objetos caem na mesma velocidade, portanto trata-se de um experimento platônico.

5.2 Newton – Força centrípeta e movimento planetário

Neste experimento Newton sugere que um corpo ao ser projetado com uma dada velocidade descreverá uma trajetória curva, e quanto maior for sua velocidade inicial, maior será a distância percorrida pelo corpo.

Na sequência do EP, Newton imagina que um corpo seja arremessado no horizonte com uma alta velocidade do alto de uma montanha. Inicialmente sugere que se não houvesse força da gravidade os corpos seguiriam em linha reta, entretanto com a atuação da força da gravidade o objeto descreverá arcos concêntricos com a Terra, como os planetas em suas orbitas.

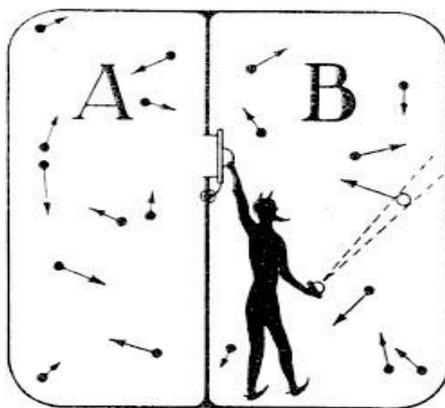


Figura 5.3 : Experimento de pensamento do Demônio de Maxwell.
(FONTE:<https://odiferencialdafisica.wordpress.com>)

A consequência do EP's seria o gás mais quente se tornar mais quente (aumento de entropia) e o gás frio se tornar mais frio (diminui a entropia), violando desta forma a segunda lei da termodinâmica.

Por meio deste experimento Maxwell demonstra a possibilidade da diminuição da entropia não seria impossível, fornecendo um caráter estatístico à segunda lei da termodinâmica. Este experimento auxilia a construir algumas conclusões a respeito de uma teoria já aceita, sendo desta forma um EP's mediativo (BROWN, 1991).

5.4 O balde de Newton

Neste EP's deve-se imaginar um balde parcialmente preenchido com água e suspenso por meio de uma corda torcida. Após certo tempo, a corda é solta e então inicia-se um movimento de rotação acelerado, podendo-se verificar diferentes momentos no sistema água/balde. Considera-se quatro situações neste exemplo:

- 1) Estado 1: antes do experimento, a água está em repouso no balde, portanto sua superfície é plana, a velocidade relativa entre ambos é nula;
- 2) Estado 2: no momento que o balde é solto, a água e o balde entram em movimento e a água adquire o movimento de rotação do balde, sendo a superfície da água côncava.. Neste momento, a água estará em repouso em relação ao balde;
- 3) Estado 3: cessa-se o experimento e a água começa aos poucos a parar de girar e subir nas paredes do balde. A velocidade relativa entre os ambos vai diminuindo até que a velocidade angular de ambos seja a mesma. Nesta etapa a superfície da água é côncava;

4) Estado 4: ao frear o balde, a água permanecerá seu movimento (estará acelerada em relação ao balde) sua superfície permanecerá côncava até o momento em que sua superfície volta a ser plana. Há movimento relativo entre a água e o balde.

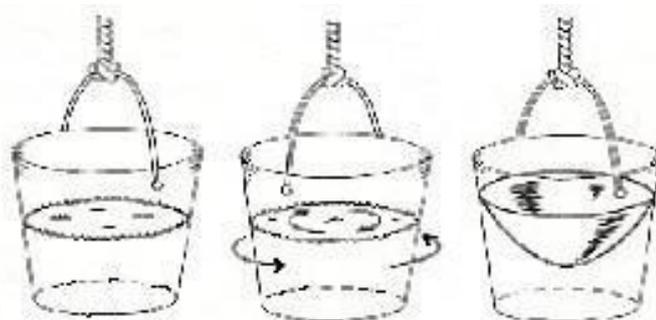


Figura 5.4: O experimento do balde de Newton (FONTE: TORTOP, 2016)

Um dos questionamentos a serem analisados neste EP refere-se aos estados reativos a cada etapa. Nos estados 1 e 3 a água e o balde estão em repouso um em relação ao outro, porém há curvatura da água nestes dois estados. Qual seria a explicação?

Newton considera que a tendência da água de se afastar de seu eixo de rotação está relacionada com o espaço absoluto e não com o movimento relativo. Para Newton, o espaço absoluto é algo imutável independente da existência de algo externo. Desta forma, o movimento absoluto seria a translação de um corpo em um espaço absoluto (BROWN, 1991).

Este experimento pode exemplificar um EP conjectural, no qual é levantado um fenômeno a ser investigado e a partir deste desenvolve-se hipóteses com o objetivo de construir uma teoria.

5.5 O elevador de Einstein

Einstein imaginou vários experimentos com elevadores. Imagine um elevador em repouso num referencial inercial S no qual existe um campo gravitacional uniforme, por exemplo, na superfície da Terra. Se o observador soltar um objeto, ele cai com aceleração da gravidade. Um objeto em repouso no seu interior, apoiado sobre o chão, sente uma força que se opõe ao seu peso.

Agora supõe-se que o observador está em uma nave espacial, longe de campos gravitacionais, acelerando com $a=g$ em relação a S. A nave seria o referencial S'.

Se o observador soltar um objeto dentro da nave, este será acelerado para baixo com aceleração $a=g$. Um objeto em repouso sente uma força similar àquela que equilibrava seu peso no caso anterior. Portanto observa-se que as duas situações são equivalentes.

Agora imagine que o elevador inicial está suspenso por um cabo e que este cabo se rompe. O observador flutua e se ele solta um objeto perto dele, este também flutua (até que ambos atingem o chão).

Ao analisar novamente a nave anterior e supor que os motores são desligados. A nave passa a se deslocar com velocidade constante e aceleração nula. O observador flutua e se ele soltar um objeto perto dele, este também flutuará. De novo, as duas situações são equivalentes (MEDEIROS; MEDEIROS, 2005).

A partir deste EP, Einstein mostrou e desenvolveu o princípio da equivalência, em que um referencial inercial não acelerado no qual existe um campo gravitacional uniforme e um referencial acelerado uniformemente, mas no qual não existe campo gravitacional, são referenciais fisicamente equivalentes.

Este experimento realizado por Einstein em sua mente pode-se caracterizar como um EP direto, em que o objetivo é desenvolver uma teoria.

5.6 O gato de Schrödinger

Este EP foi pensado pelo físico Erwin Schrödinger, em 1935. Foi motivado pelo problema que Schrödinger percebeu com a interpretação de Copenhague para objetos do mundo macroscópico.

A interpretação de Copenhague diz que um sistema quântico pode assumir múltiplos estados, ou seja, o sistema pode encontrar-se em uma superposição de estados, enquanto um destes estados não for definido por observação.

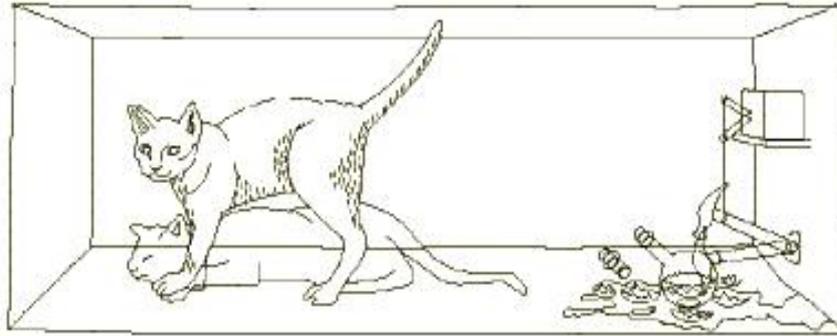


Figura 5.5: Experimento de pensamento do gato de Schrödinger (FONTE: <http://albertepagan.eu/a-toupeira/cinema-galego>)

No EP imaginado por Schrödinger, haveria no interior de uma caixa, um gato, material radioativo no interior de um recipiente de vidro, um contador Geiger (medidor de radiação) e um martelo.

De acordo com a interpretação de Copenhague, o material radioativo poderia assumir dois estados. Em um destes estados os átomos do material decairiam sendo detectado pelo contador Geiger, com isto o martelo seria liberado quebrando o recipiente e o material radioativo, provocando a morte do gato. Em outro estado os átomos do material não decairiam e o gato permaneceria vivo. Desta forma o gato estaria em uma superposição de estados, estando ao mesmo tempo vivo e morto (ARAUJO, 2014).

Schrödinger utilizou este experimento para mostrar como conceitos considerados válidos para a teoria quântica parecem inadequados para o mundo macroscópico, como considerar o gato ao mesmo tempo vivo e morto, até ser observado, e então seu estado ser definido. Desta forma, este EP pode ser considerado destrutivo, pois ele não mostra que a teoria é falsa, porém demonstra que não é intuitiva.

6 EPISTEMOLOGIA DOS EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO

Os experimentos de pensamento são instrumentos utilizados para investigar uma determinada situação ou cenário. São amplamente utilizados na filosofia e ciências naturais como a física.

Os exemplos existentes na história das ciências demonstram inúmeros experimentos de pensamento que obtiveram êxito ao questionar, construir ou derrubar teorias, como o elevador de Einstein, o experimento da queda dos corpos

de Galileu e o demônio de Maxwell. Desvendar como se desenvolvem estes experimentos na mente do cientista e a validade de suas conclusões são temas frequentes de investigação de filósofos da ciência.

Um dos questionamentos mais relevantes relacionados à experimentação de pensamento consiste em verificar se os experimentos de pensamento produzem e transmitem novas informações e conhecimentos.

Realizados somente no pensamento, algumas dúvidas poderiam surgir a respeito da sua utilização. Por exemplo, como novos conhecimentos científicos surgem através dos experimentos de pensamento sem a utilização de dados obtidos a partir da experimentação física? Como investigar fenômenos da natureza somente utilizando o pensamento? Pode-se confiar nos conhecimentos gerados pelos experimentos de pensamento? Qual critério de verdade pode assegurar confiabilidade às conclusões a partir de experimentos de pensamento?

Os experimentos de pensamento podem ser utilizados de diversas formas. Através deles é possível apontar erros ou falhas em teorias estabelecidas, complementar uma teoria já consolidada ou auxiliar a compreensão de conceitos e teorias.

Um experimento de pensamento é realizado somente no pensamento pela ausência de meios que possibilite a sua realização no mundo físico. O mundo real impõe restrições que limitam a investigação de diversos mecanismos físicos e a experimentação de pensamento torna possível essa investigação. Ernst Mach (1976) considera a imaginação uma ferramenta que torna possível construir um experimento somente no pensamento.

O experimento de pensamento para Mach é uma condição necessária para qualquer experimentação. Para ele toda atividade experimental deve ser precedida por um experimento de pensamento. Esta prática permite determinar as condições necessárias para a realização do experimento, as circunstâncias sobre as quais será realizado e determinar quais situações podem interferir em possíveis resultados (PEREIRA, 2015).

Mach (1976) considera a experiência como os conhecimentos que são construídos a partir de nossas vivências e a experimentação uma investigação sistematizada de um fenômeno. Para este autor, a experimentação de pensamento necessita das experiências do experimentador.

O desenvolvimento de um experimento de pensamento necessita de conhecimentos adquiridos pelas experiências de vida. Portanto, para a realização da experimentação são fundamentais os conhecimentos adquiridos através da experiência, os quais são construídos através da interação com o mundo externo através dos sentidos e preservados na memória.

O experimentador utiliza a imaginação para montar um experimento de pensamento. Ele constrói seu dispositivo experimental através dos conhecimentos já adquiridos através da experiência sensorial e os conhecimentos científicos existentes. Partindo de uma circunstância inicial, o pesquisador pode condicionar novas situações, variando as condições do experimento. É possível também diminuir ou retirar determinados fatores do experimento, de modo a isolar algumas circunstâncias. O autor ressalta que a ciência realiza atos semelhantes em diversas situações ao utilizar idealizações na construção de modelos que explicam os fenômenos da natureza.

Para Mach os experimentadores de pensamento devem avaliar continuamente os experimentos e os resultados, analisando a necessidade ou não de ampliar o experimento para a uma comprovação concreta. Os resultados inconclusivos ou inconsistentes podem demandar o prosseguimento para a verificação do fenômeno a partir da experimentação concreta. Mas, caso o cientista avalie que as conclusões do experimento de pensamento são consistentes, o autor julga inútil a investigação concreta do fenômeno.

Mach atribui ao raciocínio lógico dedutivo um caráter experimental. A dedução não induz sempre a um caminho conhecido. O caráter experimental do raciocínio pode levar o imaginário a diferentes situações e soluções conhecidas ou desconhecidas. Portanto, ele considera que o pensamento abstrato pode construir situações, a partir de conhecimentos prévios e científicos, que são condicionados e verificados pelo raciocínio lógico.

O experimento de pensamento, portanto, pode ser considerado similar a um experimento real. O raciocínio lógico é capaz de construir um experimento, organizar os conhecimentos necessários para sua realização, variar parâmetros e analisar possíveis afirmações teóricas a respeito da situação investigada.

As considerações de Mach sobre a possibilidade dos experimentos de pensamento gerar novos conhecimentos a partir do raciocínio lógico dedutivo provocaram discussões entre diversos filósofos das ciências, como Gendler,

McAllister e Brown. Algumas opiniões convergem com as considerações de Mach, enquanto outras como as de Kuhn e Norton discordam.

McAllister (1996) confere validade para os experimentos de pensamento, desde que sigam padrões que os atribuam legitimidade, semelhantes aos critérios que guiam os experimentos científicos concretos.

Os cenários envolvidos em uma atividade de experimento de pensamento devem seguir leis já conhecidas e serem guiados por padrões que permitam alcançar conclusões corretas, ou com menores incidências de erros. McAllister afirma que os praticantes do experimento de pensamento devem considerar fundamentalmente que eles fornecem evidências para estabelecer ou derrubar alegações da ciência.

McAllister desenvolve uma discussão a partir de uma perspectiva logicista, considerando o aspecto evidencial do experimento de pensamento intrínseco a ele. De acordo com a visão logicista, o experimento de pensamento tem um significado evidencial, ou seja, é capaz de produzir evidências que demonstram a relevância das conclusões obtidas sobre o fenômeno investigado. Portanto, não há condições específicas que podem anular a relevância das contribuições e afirmações dos experimentos de pensamento. Seguindo padrões que os conferem legitimidades, eles são capazes de estabelecer ou derrubar afirmações científicas pré-existentes.

Para McAllister o significado evidencial do experimento de pensamento, assim como o experimento concreto, é atribuído em momentos específicos, em determinadas áreas da ciência. Ele discorda de autores como Brown, que consideram o caráter evidencial dos experimentos de pensamento intrínseco a ele.

As evidências obtidas através de um experimento de pensamento devem ser pautadas na lógica e na razão, se, alguns condições forem cumpridas, como: i) estabelecer que sejam aceitas ideias que atribuam significado ao experimento de pensamento; ii) considerar as leis da natureza aceitas pela comunidade científica para a execução do experimento de pensamento; iii) estabelecer estágios que promovam a verificação dos significados que podem ser atribuídos às evidências obtidas no experimento, auxiliando na sua investigação e compreensão.

Para exemplificar seu posicionamento, McAllister utiliza o experimento de pensamento de queda dos corpos de Galileu. Ele conclui que a tecnologia existente na época impedia que o experimento concreto fosse realizado, pois não haveria a possibilidade de criar uma região de vácuo para a realização do experimento.

Portanto, Galileu teria recorrido ao experimento de pensamento como forma de demonstrar e provar que os corpos cairiam com a mesma velocidade, independente de suas massas.

Galileu utiliza a lógica e a razão, porém também segue os critérios que o autor considera essenciais para a realização de um experimento de pensamento. Ele constrói um cenário para o fenômeno estudado; considera as leis da natureza conhecidas, embora, construa argumentos lógicos e racionais contrários; estabelece estágios de verificação de situações propostas para mostrar a falha teórica de Aristóteles e cria argumentos que constrói a nova teoria.

Brown (1986) utiliza, assim como McAllister, o experimento da queda dos corpos de Galileu para construir argumentos para a relevância científica dos experimentos de pensamento.

Este autor desenvolve várias contribuições ao analisar os experimentos de pensamento. Ele faz uma diferenciação entre experimentos de pensamento e experimentos imaginários, desenvolve uma taxonomia para os experimentos de pensamento e constrói argumentos que evidenciam a relevância dos experimentos de pensamento para a Física.

Para Brown os experimentos imaginários são situações experimentais realizadas na imaginação, mas, que também podem ser realizadas concretamente. As observações experimentais obtidas em um experimento que poderia ter sido realizado, mas que não o tenha sido por opção do pesquisador, não pode ser considerado um experimento de pensamento.

Os experimentos de pensamento são situações de investigação impossíveis de serem realizadas concretamente. O experimento deve ser realizado somente na mente do cientista pela falta de tecnologia disponível ou por ser fisicamente ou conceitualmente impossível. Esses experimentos utilizam de situações que não poderiam ser verificadas no mundo real, como demônios transportando moléculas, gatos presos em caixas que podendo estar vivo ou morto ao mesmo tempo.

Para este autor os resultados dos experimentos de pensamento são pautados na intuição do pesquisador. As leis da natureza existem independentemente da percepção humana. Os homens tem algum tipo de capacidade para compreender estas leis e, de desenvolver a melhor explicação para o fenômeno investigado (*a priori*). Galileu teria alcançado a conclusão final, de que corpos de diferentes massas caem com a mesma velocidade no vácuo, através do conhecimento *a priori*.

Brown desenvolve seis argumentos para justificar que os experimentos de pensamento geram o conhecimento *a priori*.

O primeiro deles é considerar que não houve novos dados de observação para gerar novos conhecimentos. Brown argumenta que as novas teorias que surgem a partir dos experimentos de pensamento não utilizam dados provenientes da observação empírica para estruturá-la.

O segundo argumento de Brown diz que os experimentos de pensamento não tratam de considerar dados antigos sob uma nova visão. Ele argumenta que nem sempre os experimentos de pensamento surgem para derrubar uma teoria existente. Eles podem gerar uma nova teoria ou ampliar o entendimento a partir de uma melhor explicação.

O terceiro argumento que sustenta os argumentos de Brown está relacionado à lógica. Ele utiliza novamente o exemplo do experimento de queda dos corpos. Galileu utilizou argumentos baseados na lógica para inferir que a velocidade de queda dos corpos seria a mesma. Ele não fez uso de análise de dados para fazer tal afirmação, portanto, não poderia ser considerada uma verdade formal, construída a partir de verificações teóricas ou experimentais.

Na quarta consideração, Brown diz que no caso do experimento de pensamento de Galileu, a nova explicação para o fenômeno de queda dos corpos tornou-se mais aceita do que a explicação aristotélica, tornando-se a melhor explicação para o fenômeno.

O quinto argumento de Brown são abordados ideias recentes sobre o desenvolvimento das leis da natureza. Essas novas ideias surgiram com o objetivo de substituir o princípio da regularidade, o qual considerava que as leis da natureza são meras regularidades (SANTOS, 2013). Ele fornece o seguinte exemplo para demonstrar os novos conceitos:

... é uma lei que todos os corvos são negros' é analisado como: há uma relação contingente entre a corvina e a negrura universal, de tal forma que o primeiro necessita do último. Essa relação de necessidade, por sua vez, acarreta a regularidade: $N(R,B) \rightarrow (x)(Rx \supset Bx)$. Mas a implicação não vai para o outro lado: $(x)(Rx \supset Bx) \supset \neg (R, \neg B)$

Essa nova visão, desenvolvida por Dretske 1977, Tooley 1977 e Armstrong 1983, afirma que uma regularidade observada não deve ser necessariamente uma lei da natureza, mas, as leis da natureza que devem governar as regularidades

(SANTOS, 2013). Portanto, ao analisar um fenômeno deve-se olhar as regularidades buscando evidências que permitam alcançar o entendimento das leis naturais.

Na sexta explicação são fornecidos alguns argumentos que Brown diz compartilhar com Gödel. De acordo com as ideias deste autor, nós somos capazes de observar os fenômenos e através de uma capacidade intelectual, gerar o entendimento ou explicação para a situação observada. A mente é capaz de desenvolver argumentos explicativos para os fenômenos. Embora esse fato não ocorra com frequência, segundo Brown, nem sempre nossas mentes são capazes de ver os fatos com clareza para gerar a compreensão das leis da natureza.

A capacidade de enxergar as leis que regem a natureza limita-se a casos especiais, como sugere o caso de Galileu. Apesar de podermos enxergar os fenômenos e analisa-los, muitas das vezes a percepção dos fenômenos pode ser confusa e não gerar entendimento.

Os seis argumentos elaborados por Brown para a defesa da tese de que os experimentos de pensamento podem gerar conhecimento *a priori*, não devem ser vistos de forma conclusiva, pois podem ser contestados por empiristas. Esta linha de pensamento, segundo Brown, rejeita a suposição de objetos e situações abstratas, além de rejeitar que os conhecimentos *a priori*.

Entretanto, outras visões baseados na ética, linguística, matemática e lógica, utilizam situações e entidades abstratas, intuição, razão, entre outras formas de compreensão intelectual para desenvolver explicações para os fenômenos da natureza. As ideias de Brown fazem parte desse grupo, e permitem fortalecer os argumentos que as melhores explicações para os fenômenos da natureza também podem ser obtidos pela investigação do pensamento.

Thomas Kuhn em sua obra “A function for Thought Experiments”, desenvolve algumas considerações sobre os experimentos de pensamento. Ele faz questionamentos referentes ao desenvolvimento de novos conhecimentos através dos experimentos de pensamento. De acordo com suas proposições, o pesquisador apoia-se em dados e conhecimentos anteriores ao realizar um experimento de pensamento, portanto, não seria possível construir novos conhecimentos. Os experimentos de pensamento teriam como finalidade auxiliar a compreensão conceitual do experimentador.

Kuhn considera que conflitos podem surgir durante um experimento de pensamento. Esses conflitos são similares aos existentes em experimentos

concretos, por exemplo, quando um resultado esperado não confere com o que é observado. Essas situações de conflito e contradições podem auxiliar o experimentador a obter leis da natureza diferentes daquelas nas quais se baseou para a experimentação.

Neste trecho o autor considera, diferentemente de sua posição destacada anteriormente, que os experimentos de pensamento possuem maior relevância no cenário científico que somente auxiliar a compreensão conceitual. Apesar de não gerar novos conhecimentos, os experimentos de pensamento, permitem apontar erros e inconsistências em teorias, levando a modificações ou surgimentos de novas leis científicas (KUHN, 1977).

Brown faz críticas a visão de Kuhn sobre os experimentos de pensamento. De acordo com Brown, um experimento de pensamento não deve ser visto somente como um mecanismo de mudança de paradigma, pois eles podem gerar novos conhecimentos, como no caso do experimento de Stevin¹ em 1605.

Gendler (1998) segue a perspectiva de Kuhn sobre os experimentos de pensamentos. Ela argumenta que os experimentos de pensamento devem ser realizados “em pensamento” pelo investigador, ou seja, o experimentador deve conduzi-lo como um experimento real. O experimentador deve realizar perguntas como: “O que eu diria? Como eu julgaria ou esperaria se encontrasse certas circunstâncias?” Estes questionamentos levariam a respostas e conclusões.

Os experimentos de pensamento são vistos como uma forma de raciocínio, os quais possuem uma estrutura fundamental semelhante em todos os casos, os quais podem ser divididos: i) descrição de um cenário imaginário; ii) argumento que procura estabelecer a avaliação adequada do cenário; iii) avaliação do cenário imaginário é realizada para mostrar algo sobre eventos além do cenário.

Ela baseia-se em Mach (1976) para construir seus argumentos sobre os conhecimentos obtidos pela experimentação de pensamento. Para ela o homem possui um conhecimento desarticulado do mundo, o qual não pode ser organizado por qualquer quadro teórico, mas demanda circunstâncias específicas. Um experimento de pensamento, assim como um experimento concreto, ao ser realizado sob um cenário específico permite acessar este conhecimento. Este acesso possibilita utilizar o conhecimento em novas explicações dos fenômenos

¹ Simon Stevin (1548-1620) desenvolveu um experimento de pensamento para explicar o equilíbrio de forças em planos inclinados.

naturais, desde que o experimentador seja capaz de sistematizar este conhecimento em padrões (modelos e leis da natureza).

Gendler (1998), em seu artigo *Galileo and the Indispensability of Scientific Thought Experiment*, utiliza o experimento de queda dos corpos para demonstrar falhas na teoria apresentada por John Norton. Segundo este autor, os experimentos de pensamento não se tratam de nada além de argumentos.

Norton (1991) pode ser considerado um empirista. Para ele a manipulação lógica dos conhecimentos já existentes seria a única maneira de obter novos conhecimentos sem a investigação empírica. Os experimentos de pensamento são capazes de gerar novos conhecimentos somente se demonstrarem relações e consequências de fatos já conhecidos.

A argumentação empirista de Norton procura demonstrar que os experimentos de pensamento são argumentos. Essa seria a única alternativa de raciocinar e gerar novos conhecimentos a partir dos antigos (STUART, 2016).

Norton (2004) em seu artigo *On Thought Experiments: Is There More to the Argument*, desenvolve uma discussão. Ele parte de um problema epistemológico das ciências naturais que discute se os experimentos de pensamento fornecem conhecimento do mundo natural. A partir desta inferência ele faz o seguinte questionamento: De onde vem esse conhecimento?

Na sua visão os experimentos de pensamento são argumentos pitorescos. O conhecimento pode surgir de premissas introduzidas explícita ou tacitamente no experimento de pensamento. Esse conhecimento é modificado, na maior parte das vezes tacitamente, através de argumentação dedutiva ou indutiva até alcançar o resultado final. Norton acredita que é possível concluir sobre a existência de um argumento ao observamos um raciocínio convincente ou através da identificação de argumentos implícitos em um experimento de pensamento (NORTON , 1991).

A justificativa para definir os experimentos de pensamento como argumentos trata-se de algo completamente interno, como justifica Norton. Os experimentos de pensamento possuem uma característica estrutural, semelhante a outras inferências de sucesso já conhecidas. O experimentador utiliza a lógica, seu raciocínio, e seus conhecimentos tácitos para desenvolver a situação imaginária e alcançar as possíveis conclusões.

Norton procura justificativas que demonstrem a falibilidade dos experimentos de pensamento. Ele mostra possíveis ocorrências de erros e afirma que, se um

experimento de pensamento alcança determinadas conclusões, um experimento de pensamento contrário, ou oposto, alcançaria conclusões antagônicas ao primeiro experimento. Portanto, esta dinâmica contraditória não conferiria legitimidade às conclusões alcançadas por em um experimento imaginado, concluindo que os experimentos de pensamentos podem levar a conclusões falsas (NORTON, 2004).

A perspectiva a respeito dos experimentos de pensamento dos diversos autores citados torna possível realizar uma análise para comparar as divergências e convergências entre suas ideias.

Os autores Mach, McAllister, Brown e Gendler convergem ao considerar que os experimentos de pensamento são atividades que necessitam do conhecimento prévio do experimentador. Para conduzir um experimento de pensamento é necessário utilizar ferramentas intelectuais construídas através das experiências e dos conhecimentos científicos conhecidos. Entretanto, os autores Kuhn e Norton tem mais cautela quanto a essa afirmação.

Kuhn diz que se os experimentos de pensamento são desenvolvidos a partir das experiências já conhecidas, seria muito difícil obter novos conhecimentos. Enquanto Norton atribui a possibilidade da ocorrência de erros ao apoiar-se em conhecimentos advindos da estrutura sensorial.

7 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO NO ENSINO

Os EP's são utilizados frequentemente em diversas áreas do conhecimento como a Filosofia, Física, Biologia e Matemática.

Em outras áreas como a Química são raros relatos de EP's bem sucedidos, entretanto ao longo da história das ciências físicas e biológicas há inúmeros exemplos de EP's utilizados e a partir dos quais houve um vasto desenvolvimento de conhecimento e teorias (SNOOKS, 2006).

O primeiro a sugerir a utilização dos EP's no ensino de ciências foi Ernst Mach em 1913, entretanto suas pesquisas não obtiveram destaque na época. Este autor argumentava que os EP's seriam de interesse não apenas por desenvolver a capacidade de questionar dos estudantes, mas também como uma importante atividade de desenvolvimento mental.

Os EP's são ferramentas cognitivas amplamente utilizadas para a resolução de problemas científicos. Estudos na literatura como Matthews(1994), Reiner e

Burko(2003), Gilbert e Reiner (2000), Stephens e Clement (2006),Clement (2009) e Stephens e Clement (2012),sugerem que os experimentos mentais auxiliam desenvolver habilidades como a imaginação, criatividade e capacidade de resolver problemas.

Matthews (1990) ressalta que os EP's possuem considerável potencial didático quando os estudantes antecipam o resultado de um experimento. Desta forma, os estudantes têm a possibilidade de desenvolver a capacidade de refletir utilizando a mente e revelando de forma clara e objetiva como estão se formando os conceitos durante uma investigação.

Nunez, Clement e Ramirez (2003) investigaram o papel dos EP's em um grupo do ensino médio, no qual o professor pretendia que os alunos executassem EM para auxiliar a confirmação e modificação de ideias. Estes autores relatam que os alunos conseguiram utilizar cenários imaginários e alcançar ideias cientificamente aceitas. Argumentam que os EP's podem ser utilizados e pode ser considerado como uma importante ferramenta no ensino médio.

Stephens e Clement (2006) descobriram que os estudantes, independentemente, podem gerar novos cenários, fazer previsões desses cenários, e avaliar essas previsões por conta própria durante discussões de classe.

Em Clement (2008), o autor realiza considerações a respeito da formação de imagens mentais. Foi desenvolvida a hipótese na qual o sujeito possui estruturas de conhecimento motor que podem auxiliar a controlar ações, as quais o autor chama de "intuição física". Por meio destas estruturas o aluno pode coordenar suas ações imaginárias ao longo dos EP's, gerando trajetórias de comando. Portanto podem também auxiliar como esquemas motores reflexivos, ou seja, como um esquema que incorpora ideias e desta forma se configurar como um recurso para gerar imagens dinâmicas.

É citado um exemplo demonstrando que há várias possibilidades de utilização destas ferramentas, como utilizar analogias a partir de situações de maior familiaridade para desenvolver modelos explicativos e com isto auxiliar em EP's. O exemplo apresentado pelo autor seria um aluno desenvolver um modelo de circuitos elétricos baseado em uma metáfora de "pressão elétrica", com a pressão espalhando-se igualmente pelas áreas equipotenciais (conectadas) de um circuito e as diferenças de pressão que conduzem o fluxo através dos resistores. Este modelo pode ser utilizado para fazer uma previsão inicial, ou como forma de transferência

para novos problemas com diferentes abordagens envolvendo circuitos elétricos, no qual o aluno não havia visualizado anteriormente. O aluno utilizará as analogias realizadas inicialmente para simular novas situações em suas mentes (simulação imagética), realizando previsões ainda não testadas, sendo desta forma, um experimento mental (CLEMENT, 2008).

Este mesmo autor em 2009 ressalta um estudo de caso realizado com estudantes considerados em um nível avançado de ensino superior, destacando o estudo com um estudante de matemática. Durante a pesquisa são apresentadas ao aluno situações ainda não vivenciadas ou analisadas por ele, pois segundo o autor para ser considerado um EP o sujeito não deve ter familiaridade com a situação apresentada. Os dados referentes à pesquisa são coletados através de anotações, textos e filmagens, são ressaltadas durante a análise dos dados os gestos, movimentos e o discurso. O autor ressalta que sua pesquisa utilizou a simulação imagética para trabalhar com os EP's, onde são verificadas as imagens mentais desenvolvidas (CLEMENT, 2009).

Após várias etapas do estudo de caso nas quais o aluno alcançou suas conclusões a respeito do experimento, o autor sugere que deve ser utilizado um tipo mais especializado de EP, o qual chama de *Gedanken*, sendo uma etapa de avaliação. A experiência avaliativa de *Gedanken* consiste em considerar um experimento não testado, projetado para ajudar a avaliar um conceito, modelo ou teoria e tentar prever aspectos do comportamento do sistema e desta forma auxilia o aluno a confirmar ou entrar em conflito com suas conclusões iniciais (CLEMENT, 2009).

Stephens e Clement (2012) realizaram atividades de EP's com alunos do ensino médio. O assunto abordado foi sobre gravitação e, de acordo com a metodologia utilizada, foram apresentados casos e, a seguir discussões foram desenvolvidas em sala de aula. Foram diferenciados os EP's realizados pelo professor e pelos estudantes ao longo das discussões. Destaca-se que foram realizados inicialmente, EP's pedagógicos, os quais são utilizados para realizar previsões de sistemas o qual os resultados não são conhecidos pelo sujeito, mas são conhecidos pelo gerador do experimento. Diferente dos EP's pedagógicos foi possível constatar durante as discussões, que a partir da análise de EP's pedagógicos os alunos inseriram novas variáveis e novas situações procurando comprovar, complementar ou alterar hipóteses desenvolvidas sendo desta forma

experimentos *Gedanken*, os quais são gerados pelos estudantes e surgem para avaliar situações imaginadas.

Para analisar os dados são utilizadas novamente evidências de formação de imagens mentais, para isto são ressaltados os discursos e gestos dos alunos ao longo do desenvolvimento dos casos. Durante a análise são criados símbolos para codificação das etapas e relação entre os experimentos. O esquema desenvolvido, segundo o autor, auxilia a compreensão do desenvolvimento dos casos a partir de uma verificação detalhada dos códigos e relações entre estes (STEPHENS, CLEMENT, 2012).

Em Gilbert e Reiner (2000) é proposta a utilização de EP's utilizando três diferentes tipos de texto. A partir destes textos, algumas questões conceituais seriam levantadas de forma a auxiliar o desenvolvimento do EP's.

Em 2004 estes autores descobriram que estudantes de treze anos utilizaram EP's entrelaçados dentro do processo de desenvolvimento de um experimento físico. O estudo mostrou que os estudantes realizaram progressos em direção as ideias científicas, ou seja, dos conceitos envolvidos, alternando entre o modelo imaginário e o físico. Esta pesquisa sugere que a interação entre experimentos, desenhos e EP's podem ser enriquecedores no processo de construção do conhecimento (GILBERT; REINER, 2004).

Os EP's podem ser uma possível estratégia para ordenar e oferecer capacidades cognitivas mais amplas e complexas, por meio de situações que promovam a discussão e o desenvolvimento de ideias. Alguns autores como Helm et. al (1985) especulam que os EP's podem ter um papel importante na mudança de concepções pois eles têm a capacidade de despertar insatisfação com as já existentes (*apud* KIOURANIS *et.al*, 2010).

No artigo "On the Limitations of Thought Experiments in Physics and the Consequences for Physics Education", de Reiner e Burko (2003) se discute as possíveis limitações dos EP's e as possibilidades de erros durante sua execução. Estes autores dizem que o erro durante o desenvolvimento de um experimento mental não deve ser visto como uma falha, mas como uma possibilidade de discussões e análises mais profundas e com isto ser uma oportunidade que pode vir a auxiliar o desenvolvimento intelectual.

Neste artigo os autores citam Reiner (1998) e destacam que os EP's podem ser divididos em cinco estágios:

- 1) A questão e suposições gerais, como a teoria física;
- 2) As características do mundo tal como imaginado pelo físico. Formulação do EP's e a escolha de o modelo físico a ser usado;
- 3) A realização do próprio EP's. Deduções formais a partir das duas primeiras etapas;
- 4) A extração dos resultados;
- 5) O desenho das conclusões.

A autora sugere que com o objetivo de minimizar as possibilidades de erros na condução de um EP's realizados por estudantes, deve-se inicialmente apresentar EP's feitos por físicos (desenvolvidos ao longo da história). Na sequência deve-se permitir que os estudantes gerem seus próprios EM espontaneamente.

O primeiro pode servir para seguir os processos de pensamento dos EP's conhecidos como, por exemplo, o demônio de Maxwell ou o gato de Schrödinger, podendo ser corretos ou incorretos. Os EP's corretos permitem que alunos se familiarizem com sua potencialidade e argumentação, além de possibilitar obter um olhar para os processos de pensamento que moldaram os princípios e conceitos da física. Já os EP's incorretos, permitem o conhecimento das armadilhas lógicas e conceituais de um EP's, observando o estado temporário do conhecimento e permitindo que analisem a importância da autocrítica durante a construção dos conceitos.

O segundo tipo de EP's está relacionado gerar os próprios experimentos mentais, podendo ser desenvolvidos sem restrições. Reiner (1995) destaca que os estudantes utilizam de diagramas e representações por meio de imagens durante seu desenvolvimento, como uma ferramenta de visualização do que seria construído na mente.

Bancong e Song (2020) desenvolvem uma pesquisa cujo objetivo é mostrar que os EP's podem ser construídos de forma colaborativa e apresentar um mecanismo de como os EP's ocorrem em atividades em grupo.

A pesquisa utiliza a ideia de aprendizagem colaborativa, a qual se baseia no conceito de zona de desenvolvimento proximal, apresentado por Vygotsky. Nesse conceito, Vygotsky (1978) enfatiza a importância de aprender através da comunicação e interação com outras pessoas ao invés de aprender sozinho.

Os alunos realizaram cinco atividades. Para a aplicação dos problemas os estudantes utilizaram papel para registrar ideias e ilustrações durante as resoluções.

Os pesquisadores também formularam perguntas para estimular os alunos em momentos específicos, como por exemplo: “o que estão pensando?” e “Porque pensaram assim?”. A coleta dos dados consistiu na observação do grupo, entrevistas, notas de campo e filmagens.

Os autores relatam que os estudantes desenvolveram os EP's em cinco passos, chamados de etapas de EP's colaborativos, consistindo em: visualizar mundos imaginários, realizar experimentos, descrever os resultados, compartilhar e avaliar experimentos e tirar conclusões.

A análise dos resultados se baseou em Reiner (1998) e Reiner e Burko (2003), os quais consideram que as atividades de EP's consistem na visualização de mundos imaginários, realização de experimentos e descrição dos resultados. Eles utilizam também, a metodologia desenvolvida por Clement (2009), a qual analisa os discursos e gestos, demonstrando indícios de que EP's estão sendo desenvolvidos.

Os pesquisadores concluem que os alunos desenvolvem seus EP's, descrevem os resultados e os compartilham. Durante esse processo, ocorreram discussões e explicações de ideias, configurando-se em um procedimento de negociação de resultados, durante o qual se validou o EP. Os resultados mostram que os alunos projetaram, compartilharam, repensaram e avaliaram seus EP's em atividades em grupo, indicando a possibilidade de desenvolver e construir EP's em um contexto colaborativo.

Os EP's permitem a formação de ideias, a compreensão conceitual, auxiliam a construção de ferramentas de questionamento, a comunicação destes questionamentos, a capacidade de argumentação e os meios de comunicação entre os estudantes ao longo de seu desenvolvimento (VALENTZAS, 2006).

O aluno tem a possibilidade de familiarizar-se com a cultura da física (deduções baseadas em observação, experimentação no laboratório e experimentação na mente), favorece utilizar a intuição e empregar estratégias lógicas para a condução do experimento. Os EP's auxiliam também a refinar a capacidade de argumentação ao expor suas conclusões, favorecendo o desenvolvimento dos conceitos trabalhados (REINER, 2003).

Os EP's podem ser importantes ferramentas didáticas, pois possibilitam encorajar os estudantes no desenvolvimento da imaginação e da criatividade. Auxilia também os estudantes que exibem insegurança em relação aos conceitos trabalhados, a ingressar nas discussões, com o auxílio do professor e demais

alunos, e por meio dos questionamentos, argumentos e hipóteses desenvolvidas alcançar a compreensão adequada dos conceitos científicos envolvidos.

8 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO E A APRENDIZAGEM COLABORATIVA

Os experimentos de pensamento realizados por cientistas são desenvolvidos individualmente, pois necessitam de alto grau de desenvolvimento de habilidades mentais e de profundo conhecimento a respeito do tema a ser investigado. Entretanto, tratando-se de atividades de experimento de pensamento realizados com estudantes de ensino superior e de nível médio, pesquisas recentes sugerem que estas atividades devem, preferencialmente, serem realizadas em grupos. Valentzas e Halkya (2011), em grupos Valentzas e Halkya (2011), Vallentzas e Halkya (2013), Kösem e Özdemir (2013), Asikainen e Hirvonen (2014), Faria e Vaz (2018) e Bancong e Song (2020).

As atividades de experimento de pensamento em grupo possibilitam o desenvolvimento de habilidades, como: a capacidade de elaboração de argumentos, explanação das ideias, defesa de argumentos e desenvolvimento de explicações. Os estudantes devem, a partir dos experimentos de pensamentos analisados, desenvolver situações imaginárias que os levem a desenvolver argumentos e a explanação e defesa destas ideias com os demais participantes do grupo. As discussões desenvolvidas pelos alunos envolvidos promovem a convergência e divergência de ideias, as quais por meio de interferências e direcionamentos do professor alcançam explicações para a situação imaginária investigada.

Pesquisas que investigam os experimentos de pensamento com estudantes (Stephens & Clement, 2006) reforçam os argumentos do desenvolvimento destas atividades em grupo. Entretanto, alguns questionamentos ainda existem para os educadores. Como um experimento de pensamento pode ser construído de forma coletiva e alcançar as mesmas conclusões por todos os participantes envolvidos?

As respostas para este questionamento podem ser discutidas sob a ótica da aprendizagem colaborativa.

A aprendizagem colaborativa pode ser definida como a modalidade de aprendizagem que ocorre a partir da interação de dois ou mais sujeitos. Os alunos devem interagir uns com os outros de forma interdependente, ou seja, por meio da interação e colaboração os estudantes devem se auxiliar na resolução de

problemas. A aprendizagem resulta a partir dessas relações, a qual pode ocorrer por meio de atividades de discussão presenciais ou até mesmo por fóruns online (Wiersema, 2000).

Nas atividades que tenham como objetivo a aprendizagem colaborativa, deve-se planejar situações as quais envolvam a participação ativa de todos os integrantes do grupo, a interação entre eles e com o professor.

Nessa metodologia de aprendizagem o foco não consiste em um produto final, mas sim no processo que permite a construção do conhecimento dos membros do grupo através da interação.

As atividades devem ser desenvolvidas para que os estudantes colaborem entre si. Entretanto, a divergência e competição entre as ideias devem existir ao longo das tarefas, pois as discordâncias auxiliam para que, através das discussões, os argumentos e organização de ideias promovam a construção do conhecimento (Schuhmacher et al., 2013).

A aprendizagem colaborativa aproxima-se da aprendizagem cooperativa quanto a sua definição geral. Em ambas as modalidades a aprendizagem ocorre em grupo, na qual os participantes contribuem para a resolução de uma situação proposta. Entretanto, na aprendizagem cooperativa, ocorre uma divisão de tarefas, na qual cada participante do grupo ficaria responsável por uma etapa da atividade. Na aprendizagem colaborativa todos os membros da equipe contribuem coletivamente para a resolução do problema, na qual participam ativamente de todas as etapas da resolução do problema (DILLEMBOURG, 1996).

Na sala de aula cooperativa, o professor define as tarefas a serem executadas por cada participante, contribuindo ativamente durante a resolução do problema, com intervenções e orientações. Na sala de aula colaborativa o professor confere aos alunos a possibilidade de escolher seus próprios papéis na resolução da atividade, delegando a eles a resolução dos problemas que surgem no decorrer da atividade. Os alunos possuem maior autonomia para a resolução de seus problemas, com isto, a interação e argumentação entre os participantes são maiores, comparada a aprendizagem cooperativa.

Os dois processos de aprendizagem consistem em estratégias de ensino com foco no desenvolvimento do aluno a partir da sua interação em um ambiente dinâmico, no qual o foco está no aluno e não no professor.

Neste trabalho realizamos uma proposta na qual os alunos do ensino médio são expostos a uma atividade na qual pretende-se estimular o imaginário e auxiliar na construção de conhecimentos de Física.

As atividades de experimento de pensamento são atividades individuais, que é desenvolvida na mente do indivíduo. Entretanto, esta proposta sugere que os alunos, após a fase inicial individual, compartilhem suas ideias em grupo, para que os cenários imaginários, argumentos explicativos e conclusões possam ser polidos e possivelmente validados.

Para a implementação dessa proposta, consideramos que a aprendizagem colaborativa possa ser mais adequada, pois os alunos devem trabalhar em grupo, participando de todas as etapas da resolução do problema. O professor deve permitir que os alunos desenvolvam seus argumentos e discussões, atuando intervindo em situações em que possa haver erros conceituais e também estimulando as discussões através de questionamentos.

A aprendizagem colaborativa vê o conhecimento como uma construção social, na qual o conhecimento se constrói através da interação de diferentes práticas por um grupo de alunos. Essas ideias estão enraizadas em teorias do construtivismo social, entre as quais podemos citar o conceito de zona de desenvolvimento proximal, desenvolvido pelo psicólogo Lev Vygotsky (1896-1934).

Nessa proposta vamos utilizar como referencial teórico as ideias desenvolvidas por Vygotsky, as quais reforçam nossos argumentos que as atividades de experimentos de pensamento podem ser trabalhadas em grupo. Esta metodologia propicia ao aluno aprender em grupo, comunicando e interagindo uns com os outros, aproveitando as contribuições, recursos e habilidades que cada um individualmente pode utilizar para auxiliar na resolução da situação estudada.

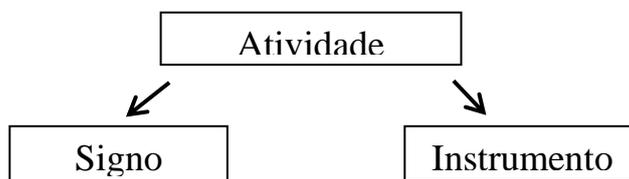
9 VYGOTSKY E A ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL

Os novos conceitos desenvolvidos por Vygotsky no início do século XX causaram modificações no entendimento sobre como ocorre o desenvolvimento cognitivo da criança. De acordo com essa perspectiva, o desenvolvimento cognitivo deve ser visto como um processo de aquisição cultural. Segundo esses conceitos as funções cognitivas e culturais podem ser de duas formas: inicialmente entre pessoas (interpsicologicamente) e posteriormente dentro da criança (intrapicologicamente).

Este princípio pode ser aplicado aos conceitos de atenção voluntária, memória lógica e formação de conceitos.

Para Vygotsky uma operação inicialmente externa, pode ser reconstruída, transformando-se em uma atividade interna, ou seja, um processo interpessoal pode transformar-se em um processo intrapessoal. Essa transformação de processos interpessoais em intrapessoais é o resultado de uma série de fatos e eventos que ocorrem no decorrer do desenvolvimento do indivíduo. Esse processo é chamado de internalização.

Uma das questões fundamentais dos conceitos desenvolvidos por Vygotsky é a questão da mediação. O processo da mediação, diz respeito a compreender a relação do sujeito com o mundo e com outros indivíduos. Para ele a utilização dos instrumentos e dos signos está relacionado ao desenvolvimento do homem.



Em sua obra *A formação social da mente* (1978), são abordados os conceitos de instrumento e signo. Vygotsky descreve que a diferença essencial entre signo e instrumento está relacionada às diferentes maneiras em que ambos orientam o comportamento humano. O instrumento é utilizado como um condutor da influência humana sobre um determinado objeto de uma atividade a ser realizada externamente. O instrumento é um meio pelo qual o homem procura interagir, controlar e dominar a natureza. Ele possui orientação externa, modificando os objetos (FINO, 2001).

O signo é uma atividade interna. Ele está voltado para o domínio e controle das funções internas do indivíduo, sendo orientado internamente.

Rego (1995) utiliza um exemplo para ilustrar a importância da interação do indivíduo com o meio social em que está inserido. A autora ressalta também que a interação com sujeitos mais experientes auxilia a formação do comportamento e pensamento humano.

Um pai, ao passear com o filho de aproximadamente 2 anos, costuma chamar a atenção para todos os carros que vão encontrando no caminho. Na medida em que mostra o carro fala o seu nome, marca e tece outros tipos de comentários. Depois, em outras ocasiões, essa

criança demonstra o quanto incorporou das informações que recebeu: brincando na escola nomeia com desenvoltura os carrinhos de brinquedo, ou passeando com sua mãe demonstra reconhecer as marcas dos carros que avista pela rua (REGO,1995 ,p. 60).

O trecho acima demonstra que a interação da criança com seu pai (indivíduo mais experiente) proporcionou a criança o acesso a conhecimento e informações que ele ainda não sei capaz de obter sem o auxílio externo. O indivíduo alcança novas conquistas individuais a partir de um processo compartilhado.

O desenvolvimento humano para Vygotsky se dá a partir da interação do indivíduo com o meio social que vivencia. Para ele, o desenvolvimento psíquico do homem ocorre a partir da interação com o outro, sendo estimulado e mediado a partir das interações. Os sujeitos menos experientes passam a se apropriar do modo de vida, costumes, cultura, comportamentos, do meio no qual estão inseridos. Através desta apropriação os sujeitos passam a incorporar e internalizar os modos de comportamento.

A teoria de Vygotsky enfatiza a importância da interação social para a formação do indivíduo. Para ele as funções intelectuais humanas são mediadas pelos signos e pelas interações sociais com outros indivíduos. A partir dessa mediação, o sujeito internaliza a cultura, reconstrói de forma individual os comportamentos externos (instrumentos) e se torna capaz de organizar os seus processos mentais. A criança deixa de se basear em situações externas e passa a se apoiar em soluções internas como imagens e representações mentais.

Vygotsky também demonstrou a importância da interação social para o desenvolvimento da aprendizagem escolar. Entretanto ele destaca que a aprendizagem escolar difere da aprendizagem pré-escolar por ser sistematizada e requerer que o estudante conheça novas situações e conceitos ainda não vivenciados. Para explicar a aprendizagem escolar Vygotsky utiliza um novo conceito, chamado de zona de desenvolvimento proximal.

Vygotsky elucida a importância de não limitar o aprendizado escolar a níveis de desenvolvimento da criança. Para ele se o objetivo da aprendizagem escolar é gerar desafios que suscitem aprendizado, deve-se procurar descobrir a relação entre a capacidade de aprendizado e o processo de desenvolvimento.

Dois níveis de desenvolvimento são definidos: nível de desenvolvimento real e nível de desenvolvimento potencial.

O nível de desenvolvimento real refere-se ao desenvolvimento de ciclos que já foram concluídos pela criança. Trata-se do nível de desenvolvimento de algumas funções mentais que se formaram em função de etapas de desenvolvimento já finalizadas. A idade mental de uma criança relaciona-se ao nível de desenvolvimento real. Este nível pode ser definido por testes que indicam a capacidade da criança de realizar determinadas tarefas de forma independente.

Entretanto a criança pode ser capaz de desempenhar tarefas com um auxílio externo, seja através da observação, orientação ou colaboração. Vygotsky realiza as considerações:

...se a criança resolve o problema depois de fornecermos pistas ou mostrarmos como o problema pode ser solucionado; ou se o professor inicia a solução e a criança a completa; ou, ainda, se ela resolve o problema em colaboração com outras crianças - em resumo, se por pouco a criança não é capaz de resolver o problema sozinha - a solução não é vista como um indicativo de seu desenvolvimento mental (VYGOTSKY, 2007, p. 96).

A criança não realizar determinada tarefa sozinha não se torna um fator limitante da sua capacidade de realizá-la. A criança possui habilidades que levam a desenvolver a tarefa, embora necessite de auxílio para efetivá-la.

O nível de desenvolvimento potencial refere-se às atividades que o indivíduo realiza com auxílio de outra pessoa, que pode ser um adulto, professor ou alguma criança mais experiente. Para exemplificar podemos imaginar uma criança que não consegue realizar algum problema de matemática sozinha. Entretanto ao inserir essa criança em um grupo com outras crianças que possuam mais experiência em problemas similares, a criança consegue resolver o problema. Para Vygotsky a capacidade da criança de desenvolver atividades com auxílio é um indicativo real do seu nível de desenvolvimento.

A distancia entre o que a criança pode fazer independentemente (nível de desenvolvimento real) e o que necessita de auxílio (nível de desenvolvimento potencial) é chamado por Vygotsky de zona de desenvolvimento proximal (REGO,1995).

A zona de desenvolvimento proximal compreende as funções que ainda não completaram o processo de amadurecimento no indivíduo. As tarefas que a criança tem a capacidade de desenvolver sozinha encontram-se amadurecidas, compondo o

seu desenvolvimento real. A zona de desenvolvimento proximal abrange as tarefas que ainda não completaram a maturação. Nesta etapa a criança não desenvolve as tarefas independentemente, mas torna-se capaz de desempenhá-la com auxílio externo.

Para Vygotsky o processo de aprendizagem não acompanha o processo de desenvolvimento. Ele afirma que: *"aquilo que é a zona de desenvolvimento proximal hoje será o nível de desenvolvimento real amanhã, ou seja, aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã"* (VYGOTSKY, 2007, p. 98).

O processo de aprendizado possibilita a criação da zona de desenvolvimento proximal. Durante o processo de aprendizagem a criança vivencia situações de conflito cognitivo. O indivíduo se torna capaz de resolver essas situações com o auxílio do professor ou de outros alunos mais experientes. Após esta etapa a criança internaliza esses processos, levando ao desenvolvimento real da criança (FINO, 2001).

O aluno deve, portanto, estar continuamente sujeito a situações que estão adiante da sua zona de desenvolvimento real. Estas situações têm como objetivo promover o surgimento da zona de desenvolvimento proximal do estudante.

O conceito de zona de desenvolvimento proximal criado por Vygotsky torna possível a educadores traçar as futuras ações que devem conduzir o desenvolvimento da criança. O conhecimento das ações que os alunos já alcançaram a maturação permite desenvolver situações que façam a criança acessar a zona de desenvolvimento proximal, proporcionando ao indivíduo seu constante desenvolvimento.

O aluno deve estar constantemente sujeito a situações que os permitem ir adiante das suas habilidades já desenvolvidas. A criança deve vivenciar ocasiões que os permitem se desenvolver. A zona de desenvolvimento proximal capacitou os educadores para seguir esta prática. Como Vygotsky afirma: *"a noção de zona de desenvolvimento proximal capacita-nos a propor uma nova fórmula, a de que o "bom aprendizado" é somente aquele que se adianta ao desenvolvimento"*(VYGOTSKY, 2007, p.102).

A proposta dessa pesquisa utiliza os conceitos desenvolvidos por Vygotsky por considera-los que as atividades de experimento de pensamento devem ser realizadas colaborativamente com outros indivíduos, pois possibilita:

- Propor problemas que acessem a zona de desenvolvimento dos estudantes;
- Permitir que os estudantes menos experientes sejam auxiliados pelos mais experientes;
- Auxiliar a compreensão coletiva do problema;
- Desenvolver discussões para polir os resultados da situação estudada;
- Reduzir as possibilidades de erros a partir do refinamento coletivo.

Após delinear o referencial a ser seguido na pesquisa, torna-se possível realizar alguns questionamentos que a nortearão:

Como ocorre o processo de construção do conhecimento de Física utilizando experimentos de pensamento?

Quais são as etapas de desenvolvimento de um experimento de pensamento?

Como ocorre o processo de validação dos resultados obtidos durante o experimento de pensamento?

10 REFERENCIAL METODOLÓGICO: INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA

A investigação qualitativa compreende um conjunto de técnicas de interpretação que objetivam descrever e interpretar os significados de um sistema a ser investigado. Tal estudo destina-se a traduzir e expressar fenômenos que envolvam diferentes relações sociais (NEVES, 1996).

Portanto, para a realização da proposta sugere-se a utilização da metodologia de pesquisa em uma abordagem qualitativa. Considera-se que as pesquisas qualitativas são potencialmente eficazes quando se trata da sala de aula, ou seja, de um ambiente complexo onde está em jogo a relação professor-aluno-conhecimento. Por isso, neste projeto, optamos pela investigação qualitativa. De acordo com Lüdke e André (1996) a investigação qualitativa envolve a obtenção de dados descritivos adquiridos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatizando o processo em vez do produto, e, conseqüentemente, retratando a perspectiva dos participantes.

De modo geral, as principais características da pesquisa qualitativa são:

- (i) adoção de ambiente natural e promoção de contato direto do pesquisador com o ambiente;
- (ii) utilização da diversidade de dados descritivos;

(iii) foco no processo em vez do produto;

(iv) busca por compreensão do ponto de vista dos participantes do estudo e análise das conclusões a partir dos dados.

Dentre as várias abordagens existentes em pesquisa qualitativa, optou-se pela abordagem de estudos de caso.

Os estudos de caso tem como características, apresentar uma compreensão em profundidade do caso e, para isso, muitas informações devem ser coletadas; pode ser analisado um único caso ou mais de um, como por exemplo, em fins de comparação entre casos; podem ser identificados temas ou situações específicas para serem estudadas em cada caso e terminam com conclusões acerca do significado global derivado do(s) caso(s), como se fossem lições gerais aprendidas com o estudo (CRESWELL, 2014).

Será utilizado estudos de caso instrumentais, pois este busca a compreensão de questões, problemas ou preocupações por meio da seleção e estudo de um ou mais casos.

Por meio da utilização dos estudos de caso, torna-se possível a coleta de dados por múltiplas fontes de informações, como observações, entrevistas, documentos e materiais audiovisuais, o que possibilita maior diversidade de dados para análise e comparações.

11 OBJETIVOS

A ciência como é apresentada aos estudantes nas escolas, leva-os a ter uma visão parcial de como se desenvolveu ao longo dos séculos. Ou seja, gera uma visão simplista a seu respeito, sem considerar o papel da criatividade, imaginação emprego de diferentes métodos para produção de conhecimento e dos fatores sociais e culturais que a influenciaram. Portanto percebe-se a necessidade de alterar este cenário (SILVA, MOURA 2008).

Tendo em vista a dificuldade enfrentada pelos alunos em compreender os modelos e leis físicas apresentadas em sala de aula, são sugeridas várias alternativas que procuram alterar este cenário, como a inserção da história da ciência, a utilização de experimentos, jogos, entre outras metodologias.

Como foi verificado anteriormente, há pesquisadores que propõem a possibilidade da utilização dos EP's como uma alternativa para auxiliar a

compreensão dos estudantes a respeito dos conceitos científicos. Por meio dos EP's pode-se proporcionar ao aluno compreender o desenvolvimento de teorias científicas ao longo da história não somente através de experimentos realizados no mundo físico, mas perceber que os experimentos podem ser realizados também no campo da mente e por meio destes muitos avanços foram alcançados na ciência.

Desta forma, pretende-se desenvolver e aplicar estudos de caso utilizando EP's com o objetivo de compreender como se desenvolvem os experimentos mentais com estudantes do ensino médio e obter evidência a partir de critérios previamente estabelecidos, da realização dos EP's nos estudantes.

Portanto, esta proposta, procura alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Modificar a dinâmica da sala de aula, obtendo-se aulas mais dinâmicas;
- Desenvolver EP's;
- Analisar como ocorre o desenvolvimento científico;
- Promover os EP's como uma das formas de construção dos conhecimentos ao longo da história;
- Entender o processo de construção do conhecimento por meio dos EP's;
- Desenvolver a criatividade, imaginação, estratégias lógicas e capacidade de argumentação;
- Proporcionar uma compreensão adequada dos conceitos físicos.

Nesta proposta será realizada uma revisão bibliográfica nos trabalhos desenvolvidos em educação utilizando EP's, com o objetivo de se apoiar em parâmetros já empregados, analisar possíveis metodologias e observar limitações.

12 METODOLOGIA

A presente pesquisa desenvolveu estudos de caso aplicados em turmas do ensino médio do Colégio Estadual João Pessoa, instituição de ensino localizada na Cidade de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro.

Apoiando-se no currículo mínimo do Estado, desenvolveu-se estudos de caso com temas abordados no primeiro e segundo ano do Ensino Médio. Para esta proposta aplicaremos os EP's individualmente e em grupos de 3 a 4 estudantes, totalizando 50 alunos.

Para o primeiro ano foi selecionado EP's que abordam Leis de Newton, para o segundo ano, conceitos relacionados a energia mecânica e sua conservação e no terceiro ano serão abordados conceitos de magnetismo.

Tendo em vista a dificuldade de compreensão dos conceitos envolvidos nestas temáticas, aplicamos estudos de caso em uma turma de primeiro ano e 4 turmas do segundo ano.

No primeiro ano de escolaridade utilizamos o EP de Galileu, no qual ele desenvolve o conceito de inércia. Esse EP foi aplicado utilizando a plataforma Classroom, pois no período de aplicação as aulas estavam ocorrendo virtualmente em função da pandemia provocada pela Covid-19.

Nas quatro turmas do segundo ano foram aplicados três experimentos de pensamento retirados do livro de *Levis Carol Epstein, Thinking Physics*. Para a aplicação destes experimentos nos baseamos nos conceitos da aprendizagem colaborativa e o conceito de zona de desenvolvimento proximal desenvolvido por Lev Vygotsky.

A análise dos dados será guiada pelas instruções de pesquisas realizadas por Stephens e Clement (2006), os quais consideram que foram obtidas evidências de formação de imagens mentais por estudantes do ensino médio e por professores.

Esta opção decorre do grande número de trabalhos publicados por John J. Clement, referentes ao tema, e da escassez de pesquisas nacionais que seguem estas orientações.

Stephens e Clement (2006) observaram que os EP's possuem capacidade de promover grandes momentos de reflexão e discussão nas aulas em que foram propostos, pois auxiliam no desenvolvimento de habilidades cognitivas e intelectuais dos alunos. Durante a realização dos EP's, os alunos tem a possibilidades de focar em uma situação imaginária e procurar soluções para desenvolvê-lo, promovendo questionamentos, analogias, desenvolvimentos de hipóteses, situações de conflito, as quais requerem atenção e treino.

Para coleta dos dados foram utilizadas gravações de áudio, anotações do pesquisador e as respostas escritas dos alunos para posteriormente ser realizada uma análise dos diálogos, com o objetivo de procurar identificar as simulações mentais dos estudantes.

De acordo com Stephens e Clement (2006), os episódios dos estudos de caso devem ser analisados de acordo com os seguintes fatores:

- se o EP foi gerado pelo professor ou pelo aluno;
- se o EP foi executado pelo professor ou pelo aluno;
- o problema que foi alvo do episódio;
- se a intenção do experimento se encaixa na definição ampla de um EP ou na definição mais restrita de um experimento, *Gedanken*;
- se uma analogia ou um caso extremo estão presentes.

Para analisar se um EP está sendo realizado, deve-se observar um conjunto de indicadores:

- 1) Relatórios de imagens: o sujeito afirma que está imaginando, vendo ou sentindo;
- 2) Referências às percepções: O assunto se refere à sensação de percepção ao descrever outros aspectos perceptivos da cena durante o pensamento, utiliza frases como "provavelmente parece que a mola está assim";
- 3) Movimentos criativos: O sujeito faz gestos utilizando as mãos ou corpo representando objetos, forças, localizações ou movimentos;
- 4) Movimentos retratam dinâmica: os movimentos da mão descrevem um evento dinâmico, não somente uma imagem estática;
- 5) Relatório de imagens dinâmicas: Um relatório que indica uma mudança, movimento ou interação no decorrer do tempo de uma situação;
- 6) Projeção ou Analogia de Movimento Pessoal: Refere-se a movimentos de entidades na situação como se fossem movidos por uma pessoa, ou usa uma analogia pessoal referindo-se a uma situação análoga envolvendo o corpo;
- 7) Usa Termos de força: O indicador de imagens ocorre em conjunto com o contexto de termos de força como "puxar", "empurrar", "torcer", "esforço";
- 8) Desenvolve um desenho para fazer observações sobre espaço ou relações físicas entre entidades.

Após seguir estes parâmetros para avaliar o desenvolvimento dos EP's, a presente pesquisa realizará uma análise dos discursos dos alunos, categorizando os experimentos realizados por eles de acordo com as etapas descritas acima.

Através das transcrições dos discursos dos alunos aliada a análise de seus diálogos, pretende-se obter evidências que EP's foram gerados por meio de simulações mentais, analogias e questionamentos.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, G.D. O gato de Schrödinger, Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/strontium/Teaching/Material2014>. 2014. Acesso em: 5 de janeiro de 2019.
- BROWN, J.R. Thought experiments since the scientific revolution. *International Studies. In: The Philosophy of Science*, 1, 1986.
- BROWN, J. R. The laboratory of the mind: thought experiments in the Natural Sciences. London: Routledge, 1991.
- Brown, J. R.; FEHIGE, Y.; "Experimentos de Pensamento", A Enciclopédia de Stanford de Filosofia . Ed. de Verão. 2017. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/thought-experiment/>. Acesso em: 12 dez, 2018.
- CLEMENT, J., ZIETSMAN, A.; MONAGHAN, J. Imagery in science learning in students and experts. In J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005.
- CLEMENT, J. Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. Dordrecht: Springer, 2008.
- CLEMENT, J. The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, vol.1, p. 686–710, 2009.
- CRESWELL, J.W. Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens. Porto Alegre, Penso, 2016.
- DEMOURES, F. X.; MONNET, É.; Le monde à l'épreuve de l'imagination. Sur'expérimentationmentale. *Revue Tracés*, n° 9, p. 37-52, 2005.
- DILLENBOURG, P. What do you mean by collaborative learning?. In: DILLENBOURG, P. (Ed.). *Collaborative learning: Cognitive and Computational Approaches*. Oxford: Elsevier, 1999. p.1-19.
- FINO, C. N. Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. *Revista Portuguesa de Educação*, v. 14, n. 2, pp. 273-291, 2001.
- GENDLER, T. S. Galileo and the indispensability of scientific thought experiment. *British Journal for the Philosophy of Science*, Oxford, v. 49, n. 3, p. 397-424, 1998.

- GILBERT, J.; REINER, M. Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, vol. 22 nº3, p. 265-283, 2000.
- GOTTSCHELL, C. A. M. Do mito ao Pensamento Científico: a busca da realidade, de Tales a Einstein. São Paulo: Atheneu, 2003.
- IERODIAKONOU, K. The Triple Life of Ancient Thought Experiments In: STUART, M. T.; FEHIGE, Y.; BROWN, J. R. *The Routledge Companion to Thought Experiments*. London: Routledge, 2018. p 31-43.
- KIOURANIS, N. M. M.; SOUZA, A. R.; SANTIN FILHO, O. Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n1, São Paulo, Mar. 2010.
- KUHN, T. S. A function for Thought Experiments. In: *The essential tension*. Chicago: University of Chicago, p. 19-39, 1977.
- LATTERY, M. J. Thought experiments in physics education: a simple and practical example. *Science & Education*, Netherlands, v. 10, n. 5, p. 485-492, 2001.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
- MACH, E. On thought experiment. *Knowledge and error*. Dordrecht: Reidel, p. 134-147, 1976.
- MARICONDA, P. R. Galileu e a ciência moderna. *Cadernos de Ciências Humanas*, v. 9, n. 16, p. 267–292, 2006.
- MATTHEWS, M. R. Ernst Mach and contemporary science education reforms. *International Journal of Science Education*, v.12, n.3, p.317-325, 1991.
- McALLISTER, J. The evidential significance of Thought Experiment in science. *Studies in History and Philosophy of Science*, n. 27, p. 233-250, 1996.
- MEDEIROS; MEDEIROS, F M.; Einstein, a Física dos brinquedos e o principio da equivalência. *Cad. Brás. Ens. Fís.*, v. 22, n. 3: p. 299-315, dez. 2005
- NEVES, J.L.; *Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades*. Cadernos de pesquisa em Administração. v.1, n.3, 1996.
- NORTON, J. D. Thought Experiments in Einstein's Work. In: Horowitz and Massey, p.129-148, 1991.

NORTON, J. D. On Thought Experiments: is there more to the argument? In: NORTON, J. D. Proceedings of the 2002 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Philosophy of Science, p. 1.139-1.151, 2004.

NUNEZ, O.; M. C.; CLEMENT, J.; RAMIREZ, M. A. Model competition and other modes of large group discussions for model based learning. *Proceedings of NARST*, Philadelphia, PA. March 23-26, 2003.

OLIVEIRA, B. J. de. Francis Bacon e a fundamentaÁ„o da ciência como tecnologia. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

PEREIRA, M.R.S.; Considerações sobre a epistemologia dos experimentos mentais. *Conjectura: Filos. Educ.*, Caxias do Sul, v. 20, n. 2, p. 181-197, set./dez. 2015.

REGO, T. C. Uma perspectiva histórico cultural da educação. Petrópolis, Vozes, 1995.

REINER, M.; GILBERT, J. Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n. 5, p. 489-506, 2000.

REINER, M.; BURKO, L. M. On the limitations of thought experiments in Physics and the consequences for Physics Education. *Science & Education*, Netherlands, v. 12, p. 365-385, 2003.

SANTOS, R.; BRANQUINHO, J. Compêndio em Linha de problemas de filosofia analítica. 2013.

SCHUHMACHER, E. , SCHUHMACHER, V.R.N.; DALVOVO, O. Aprendizagem Colaborativa à Distância como Estratégia para o Ensino de Física. In: *International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning*, 2013, Florianópolis, p. 224-229.

SILVA, C.C.; MOURA, B.A.; Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, 2008.

SNOOKS, R. J. Another scientific separating chemistry from physics: thought experiments. *Foundations of Chemistry*, Netherlands, v. 8, n. 3, p. 255-270, 2006.

STEPHENS, L.; CLEMENT, J. Designing classroom thought experiments: what we can learn from imagery indicators and expert protocols. *Proceedings of the 2006 Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. San Francisco, CA, 2006.

STEPHENS, L.; CLEMENT, J. The role of thought experiments in science learning. To appear in K. Tobin, C. McRobbie, and B. Fraser, International Handbook of Science Education, Vol. II. Dordrecht: Springer, 2012.

STUART, M.T. Norton and the Logic of Thought Experiments. Axiomathes, 2016.

TRINDADE, J. Contributo das experiências imaginadas de Galileu no desenvolvimento científico. Congresso luso-brasileiro de história das ciências. out. 2011.

VALENTZAS, A.; HALKIA, K.; SKORDOULIS, C. Thought experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics: their presence in textbooks and in popular science books. Athens: Laboratory of Science Education Epistemology and Educational Technology (ASEL), University of Athens, 2000.

VYGOTSKY, L. S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WIERSEMA, N. How does Collaborative Learning actually work in a classroom and how do students react to it? A Brief Reflection. Disponível em: <<http://www.lgu.ac.uk/deliberations/collab.learning/wiersema>. Acesso em 15 de maio de 2021.

WILKES, K.V. Real People: Personal Identity whitout Thought Experiments. Oxford, Clarendon Press, 1988.