

O CENÁRIO DAS PESQUISAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO NO ENSINO DE FÍSICA

Research scenario concerning the use of thought experiments in teaching physics

Josilândia de Oliveira Beiral (josi_beiral@yahoo.com.br)

Carlos Eduardo Batista de Sousa (cdesousa@uenf.br)

Pós-Graduação em Ciências Naturais

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Campos dos Goytacazes, RJ

Recebido em: 23/08/2021

Aceito em: 11/03/2022

Resumo

Experimentos de pensamento (EP's) são ferramentas de raciocínio tradicionais na Filosofia e Física. Contudo, a aplicação na área de ensino de Física ainda é escassa. Realizamos uma revisão da literatura sobre o tema com buscas em bancos de dados eletrônicos a fim de identificar a utilização dos EP's no ensino de Física. Para selecionar os artigos, alguns critérios foram previamente estabelecidos: período de publicação (2010-2020); possuir Qualis CAPES; artigos publicados em revistas; artigos de revisão, propostas ou atividades de EP's desenvolvidas em sala de aula. Mapeamos e descrevemos artigos com aplicações, métodos e propostas para o uso de EP's no ensino de Física. A análise dos resultados aponta convergência na aplicação do EP. Vários autores consideram o EP como uma ferramenta auxiliar para o desenvolvimento de competências que contribuem para a geração de questionamentos, analogias, hipóteses, situações de conflito mental. Além disso, o EP pode promover a construção e compreensão dos conceitos da Física. Nossa revisão sugere que o EP tem grande potencial pedagógico em sala de aula no que tange ao ensino de teorias da Física e desenvolvimento do raciocínio científico.

Palavras-chave: Experimentos de Pensamento; Ensino de Ciências; Ensino de Física; Epistemologia.

Abstract

Thought Experiments (TE's) are traditional reasoning tools in Philosophy and Physics. However, its application in the area of teaching Physics is still scarce. We carried out a literature review with searches in electronic databases in order to identify the use of TE's in the teaching of Physics. For the selection of articles, some criteria were previously established: publication period (2010-2020); have Qualis CAPES; articles published in magazines; review articles, proposals or TE's activities developed in the classroom. We map and describe articles with applications, methods and proposals for the use of TE's in the teaching of Physics. The results points to convergence in the TE application. Several authors consider the TE as an auxiliary tool for the development of skills that contribute to the generation of questions, analogies, hypotheses, situations of mental conflict. In addition, the TE can promote the construction and understanding of concepts in Physics. Our review suggests that TE has great pedagogical potential in the classroom regarding the teaching of physics theories and the development of scientific reasoning.

Keywords: Thought Experiments, Science Teaching, Physics Teaching; Epistemology.

1. Introdução

Galileu Galilei propõe um experimento sobre a queda dos corpos na obra *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632). Inicialmente, o autor pensou em uma bola de canhão anexada a uma bola mais leve. A seguir, Galileu analisou as possibilidades de queda dos corpos juntos, segundo a teoria aristotélica. Na física de Aristóteles, os corpos e objetos procurariam seus elementos primários e lugares naturais. Os objetos pesados teriam como elemento primário a Terra e, seu lugar natural seria o centro do universo, local que seria ocupado pela Terra e, portanto, a tendência destes objetos seria cair.

O experimento proposto deixa evidente uma contradição a partir da teoria aristotélica. A pedra de menor massa desaceleraria a maior, e o conjunto teria menor velocidade que a pedra maior. Porém, as duas pedras unidas teriam maior massa que a pedra maior sozinha e o conjunto com maior massa deveria ter maior velocidade do que a pedra mais pesada individualmente. Este paradoxo desenvolvido durante este experimento demonstra que Galileu procurava alcançar argumentos para refutar a teoria aristotélica.

Galileu questionou os resultados obtidos segundo a teoria aristotélica no experimento pensado. Essas conclusões geraram alguns questionamentos. Por que 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 com isso o sistema possuiria maior massa?

Este conhecido experimento na história da ciência foi realizado por Galileu somente em sua mente. Através deste experimento de pensamento (EP), Galileu refutou a visão de Aristóteles de que objetos mais pesados caem mais rápido. Galileu realizou inferências lógicas e estabeleceu uma nova teoria, a saber, a de que todos os objetos caem na mesma velocidade na ausência da resistência do ar. Posteriormente, ele realizou a experiência do plano inclinado, a partir da qual obteve a relação de que a distância percorrida por um corpo é proporcional ao tempo de queda (CESAR et al., 2008).

Os EP's foram e permanecem sendo amplamente utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento, tendo na Física, inúmeros exemplos como o canhão de Newton, o demônio de Maxwell e o elevador de Einstein. Os EP's são realizados somente na esfera da mente. O cientista imagina, prevê, controla, desenvolve hipóteses e infere conclusões a respeito de um fenômeno investigado.

Na Antiguidade grega, os filósofos naturais, entre eles Aristóteles, realizavam suas investigações principalmente, por meio dos EP's, para os quais utilizavam suas experiências prévias guardadas na memória e também a linguagem para sua explanação (MACH, 1976). Entretanto, a partir dos séculos XVI e XVII, a técnica de produção de conhecimento da ciência sofre algumas alterações e os fenômenos da natureza passam a ser investigados através da experimentação física no mundo concreto. Portanto, os pressupostos são alcançados a partir da observação e experimentação e os fenômenos naturais são representados por modelos (HENRY, 1998).

Galileu foi um dos precursores na utilização de experimentação mediante o desenvolvimento de instrumentos e testes empíricos. Ele também utilizava periodicamente os EP's como forma de desenvolver argumentos e explicações para os fenômenos investigados. Os EP's utilizados por Galileu partiam de situações idealizadas, que poderiam ser utilizados para explicar os

fenômenos físicos. Koyré (1982) considera que Galileu seria capaz de desenvolver experimentos pautados na razão e demonstrar as provas de suas leis utilizando a linguagem da matemática.

A experimentação real passa a ser fundamental para o desenvolvimento das leis da natureza e os EP's, como considera Mach (1976), permanecem na atividade científica como ferramenta de investigação teórica. Em muitos casos, os experimentos de pensamento precedem a atividade experimental, pois o cientista antecipa em seu pensamento, o arranjo experimental a ser desenvolvido em laboratório.

Apesar do desenvolvimento da experimentação realizada no mundo físico, os experimentos de pensamento permanecem como técnica empregada pelos cientistas até os dias atuais. Com o advento da Física do século XX, a Física Moderna, os experimentos de pensamento foram utilizados com frequência por cientistas como Albert Einstein e Erwin Schrödinger. Certos fenômenos investigados são difíceis de serem realizados por meio de experimentos físicos, por causa de fatores limitantes como ausência de recursos ou de instrumentos. A fim de resolver estas limitações materiais, muitos cientistas recorrem aos experimentos de pensamento para desenvolver modelos, teorias, explicar fenômenos ou derrubar teorias prévias.

Os experimentos de pensamento possuem diversas aplicações com potencial para desenvolver experimentos controlados, auxiliando o desenvolvimento e modificação de teorias. A execução de um EP pode ter como objetivo testar uma teoria desenvolvida anteriormente, prever consequências, reforçar ou refutar argumentos ou até mesmo desenvolver uma nova teoria.

Diferentes pesquisas (REINER & GILBERT, 2000; REINER & BURKO, 2003; STEPHENS & CLEMENT, 2006; VALENZTAS & HALKYA, 2010, 2013) apontam as múltiplas possibilidades de utilização de experimentos de pensamento em diversas áreas e assinalam a característica pedagógica para desenvolver e entender o sentido histórico da ciência, sua natureza e seus modelos.

Os EP's podem ser uma ferramenta pedagógica auxiliar no ensino de Física, porque 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 (VELENTZAS; HALKIA; SKORDOULIS, 2007).

Apesar das pesquisas apontarem que a utilização dos EP's no ensino de Física pode auxiliar no processo de construção dos conceitos científicos, há poucas pesquisas baseadas na sua utilização. Diante do número reduzido de estudos sobre o tema, analisamos o desenvolvimento de pesquisas em ensino de Física que utilizam como método, os EP's. Avaliamos artigos que possuam Qualis CAPES entre A1 e B4 no período de 2010 a 2020.

2. Experimentos de Pensamento

A origem do método de refletir sobre a realidade é o pensamento grego antigo. Sócrates costumava empregar um modo de raciocínio que recebeu o nome tardio de “experimento de pensamento”. Os diálogos socráticos redigidos por Platão, geralmente começam com a seguinte forma de raciocínio subjuntivo: “imagine um objeto ou uma pessoa sob as seguintes condições...”, “O que aconteceria se...” ou “O que poderia ter acontecido se...”. A forma lógica presente neste tipo

de raciocínio é o *modus ponens* “se... então...”, i.e., uma sequência condicionada que implica em outra coisa (RESCHER, 1991).

O termo *Gedanken Experiment* foi utilizado inicialmente por Hans Christian Ørsted, 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* (KIOURANIS et al., 2010).

Mediante o uso de EP, é possível analisar teorias já estabelecidas, procurar argumentos para sua modificação, desenvolver hipóteses no campo da mente, com o objetivo de reforçar ou alterar argumentos estabelecidos, como ocorreu no EP de queda livre de Galileu que refutou a teoria de Aristóteles (BROWN, 1991).

Um olhar mais atento ao longo da história das ciências evidenciará que diversos cientistas utilizaram os EP's para formular teorias, estabelecer contradições entre elas, modificá-las a partir de novas descobertas ou substituí-las por novas. Por exemplo, o demônio de Maxwell, o trem de Einstein, o balde de Newton, o gato de Schrödinger, entre outros.

Brown (1991) sugere que os EP's, assim como os experimentos realizados no mundo físico, devem seguir alguns padrões. Os EP's possuem características semelhantes aos experimentos concretos que os permitem alcançar objetivos análogos. Ele classifica os EP's de duas maneiras: *construtivos e destrutivos*.

O EP construtivo é utilizado para antecipar algum resultado ou estabelecer uma nova teoria e se divide em: (i) mediativo, experimentos que facilitam a conclusão de uma teoria específica e já estruturada; (ii) conjectural, que se inicia com uma teoria de fundo, sendo utilizado para desenvolver uma nova hipótese do fenômeno investigado e, (iii) direto, cujo objetivo é inferir ou formular uma nova teoria.

O autor classifica ainda “experimentos platônicos” que são ao mesmo tempo, destrutivos e construtivos diretos, pois ao cercar uma teoria já estabelecida, simultaneamente desenvolve outra. Como pode ser constatado no EP da queda dos corpos de Galileu.

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 gato de Schrödinger, por exemplo, não mostrou que a mecânica quântica seria falsa, mas que pode ser contra intuitiva.

Um EP pode ser realizado pela impossibilidade de concretização do experimento no mundo físico. A falta de tecnologia disponível, recursos financeiros, condições materiais ou de metodologias que atendam à necessidade para sua realização concreta, podem ser algumas razões. Entretanto, um cientista pode optar por desenvolver o experimento de pensamento como forma de auxiliar a compreensão de fenômenos investigados ou desenvolver explicações que colaborem para gerar entendimento dos conceitos envolvidos.

Em uma atividade experimental realizada no pensamento, tem-se a chance de não ficar sujeito a limitações físicas, colocando o sujeito em mundos ideais para a realização do experimento (SANTOS & SILVEIRA, 2016). Para ilustrar isto, é oportuno citar um dos experimentos de pensamento de Einstein, realizado pela primeira vez aos dezesseis anos de idade:

Se um raio luminoso for perseguido a uma velocidade c (velocidade da luz no vácuo), observamos esse raio de luz como um campo eletromagnético em repouso, embora com oscilação espacial. Entretanto, aparentemente não existe tal coisa, quer com base na experiência, quer de acordo com as equações de Maxwell. Desde o início, tive a intuição clara de que, segundo o ponto de vista desse observador, tudo devia acontecer de acordo com as mesmas leis aplicáveis a um observador que estivesse em repouso em relação à Terra. Pois, como poderia o primeiro observador saber ou determinar que está em estado de movimento rápido uniforme (EINSTEIN, 1982, p.55).

Neste experimento, observa-se a impossibilidade de realização no mundo físico. O EP de Einstein é considerado o início do desenvolvimento da relatividade geral, o qual provocou conflitos em sua mente, e gerou o desenvolvimento da nova teoria (REINER, 2012).

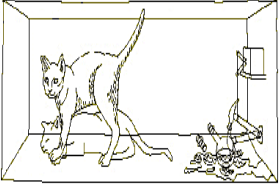

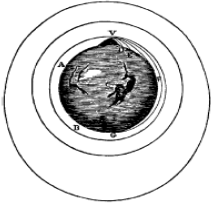
Reiner (1998) analisa o EP de Galileu e, a partir dele, considera que os EP's devem ter cinco componentes: (i) a questão e suposições gerais, como a teoria física a ser usada; (ii) as características do mundo imaginado pelo físico, ou seja, o que é relevante para o sistema. A formulação do EP e a escolha de o modelo físico a ser usado; (iii) a realização do EP, pode ser a partir de deduções formais das duas primeiras etapas; (iv) a extração dos resultados e, (v) o desenho das conclusões.

Reiner (2003) e McAlister (1996) consideram que os EP's, assim como os experimentos realizados no mundo físico são propícios a erros.¹ Contudo, seguindo alguns padrões que confirmam legitimidade aos EP's, assim como nos experimentos concretos, as possibilidades de erros podem ser reduzidas.

Os EP's possuem um papel significativo para o avanço da ciência, com extenso número de exemplos de teorias desenvolvidas a partir de sua execução. Todavia, os EP's se restringem ao campo das idéias, e sua elaboração envolve um alto grau de abstração, reflexão e análise das condições e teorias envolvidas. Abaixo, estão listados alguns experimentos de pensamento em Física:

¹ Posição conhecida como falibilismo científico, i.e., o reconhecimento de que é possível estar errado ou de que a busca por alguma certeza, mesmo com alta probabilidade, pode incorrer em erros, ideia proposta a partir da epistemologia falibilista de Popper (POPPER, 1974, p. 434).

Quadro 1 - Exemplos de Experimentos de Pensamento

 <p>Figura 1 - Representação do experimento do gato de Schrödinger (Fonte: BROWN, 1991).</p>	<p style="text-align: center;">O gato de Schrödinger</p> <p>O físico Erwin Schrödinger, em 1935, pensou este experimento. Ele consiste em um gato preso em uma caixa com um material radioativo que, de acordo com a interpretação de Copenhague, pode assumir dois estados. Caso haja decaimento dos átomos do material, o gato morre, caso não ocorra decaimento, o gato permanece vivo. Desta forma, o gato estaria em uma superposição de estados, estando ao mesmo tempo vivo e morto (BROWN, 1991).</p>
 <p>Figura 2 - Representação do navio de Galileu. (Fonte: TORTOP, 2016)</p>	<p style="text-align: center;">O navio de Galileu</p> <p>Galileu em 1632 imaginou jogar uma pedra de cima do mastro de um navio em movimento ou em repouso. Ele considerou que nas duas situações a pedra cairia da mesma maneira, em linha reta e chegaria à base do mastro. Esse experimento deu origem ao princípio da relatividade de Galileu (TORTOP, 2016).</p>
 <p>Figura 3 - Representação do experimento do canhão de Newton (Fonte: BROWN, 1991).</p>	<p style="text-align: center;">Bala de canhão de Newton</p> <p>Neste experimento, Newton imaginava inicialmente um planeta, sem atmosfera, no qual uma bala de canhão seria lançada de uma montanha. A bala de canhão, ao ser projetada com uma dada velocidade, descreveria uma trajetória curva, e quanto maior fosse sua velocidade inicial, maior seria a distância percorrida pelo corpo. A partir de uma determinada velocidade atingida, o corpo entraria em órbita, e não entraria em contato com a superfície do planeta (BROWN, 1991).</p>

3. Epistemologia dos Experimentos de Pensamento

Os EP's são instrumentos utilizados para investigar uma determinada situação ou cenário, e são amplamente utilizados na filosofia e ciências naturais. Eles possuem uma força argumentativa que lembram provas matemáticas (semelhantes às deduções de Euclides em sua *Geometria*), pois têm a forma lógica condicionada “se... então...”. Um dos questionamentos mais relevantes

relacionados à experimentação de pensamento consiste em verificar se os EP's 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 EP's 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 EP's? Qual critério de verdade pode assegurar confiabilidade às conclusões a partir de EP's?

Os exemplos existentes na história das ciências demonstram inúmeros EP's que obtiveram êxito ao questionar, construir ou derrubar teorias, como o elevador de Einstein. 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.

Porém, por meio do emprego dos EP's, não é possível obter evidências no mundo concreto, e várias dúvidas podem surgir a respeito de sua condução, execução e dos resultados obtidos. 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 EP devem seguir as leis já conhecidas e serem guiados por padrões que permitam alcançar conclusões corretas, ou com menores incidências de erros. McAllister (1996) afirma que os praticantes do EP devem considerar fundamentalmente que eles podem fornecer evidências para estabelecer ou derrubar alegações da ciência. Este autor conclui que os EP's são experimentos, embora seja uma forma extrema deles.

Um experimento é realizado somente no pensamento pela ausência de meios que possibilite a sua realização no mundo físico ou opção do pesquisador. Todavia, Ernst Mach considera possível investigar os fenômenos apenas pelo pensamento, utilizando o que ele chama de "conhecimento intuitivo", adquirido pelas experiências vivenciadas pelo experimentador (DEMOURES & MONNET, 2005).

Mach (1976) foi um dos primeiros a discutir sobre a relevância dos EP's. Ele considera que por meio de sua utilização pode-se alterar cenários e modificar circunstâncias e representações. Desta forma, tornar-se-ia possível 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 explicação de fenômenos (BROWN & FEHIGE, 2017).

Contrariando a visão dos filósofos anteriormente citados, Thomas Kuhn (1977) questionou o desenvolvimento de novos conhecimentos por meio dos EP's. Kuhn considera que ao realizar o experimento de pensamento, o pesquisador se apoia em dados e conhecimentos anteriores e, portanto, não seria possível construir novos conceitos, mas somente auxiliar a compreensão conceitual do experimentador.

Entretanto, Kuhn (1977) argumenta que os conflitos que surgem em um EP são semelhantes aos existentes em experimentos concretos. Os possíveis erros cometidos em um EP são similares aos que podem ser obtidos pelos experimentos concretos, como erros de configuração dos cenários imaginados e conclusões errôneas. Com isto, podem surgir alterações em teorias já estabelecidas.

Norton (2004) critica severamente os EP's, pois detém uma posição contrária à obtenção de novos conhecimentos por sua utilização. Ele considera os EP's como argumentos que postulam estados hipotéticos ou contrafactuais nos quais determinadas condições devem ser satisfeitas. Porém, a não satisfação das condições, torna irrelevante o uso dos EP's para inferências científicas.

Segundo Norton, EP's são apenas argumentos, os quais utilizam diversas representações como narrativas ou ilustrações. O autor mostra possíveis ocorrências de erros e afirma que, se um EP alcança determinadas conclusões, um EP contrário, ou oposto, alcançaria conclusões antagônicas ao primeiro experimento. Portanto, esta dinâmica contraditória não conferiria legitimidade às conclusões alcançadas por sua realização, concluindo que os EP's podem levar a conclusões falsas (NORTON, 2004). Além disso, a possibilidade de argumentar e contra-argumentar poderia levar a uma cadeia infinita de raciocínio, sem alcançar um desfecho sólido.

A visão de Norton contradiz o que a ciência empírica afirma sobre o erro. Por outro lado, para Popper (1980), o erro é uma característica necessária para a ciência, o qual permite que conceitos e situações investigadas sejam revistas, que conduzem ao progresso científico. A possibilidade de erros é o que confere legitimidade ao método científico, e, portanto, a possibilidade de erro em um EP lhe atribui validade como ferramenta científica.

Diante do exposto, pode-se perceber discordâncias a respeito das visões dos experimentos de pensamento. Entretanto, ao analisar as considerações de Mach (1976), Kuhn (1977) e McAllister (1996), nota-se que os experimentos de pensamento possuem validade nas ciências desde que sigam padrões que os confira legitimidade. Além de auxiliar a compreensão conceitual, eles possibilitam apontar erros e construir novas hipóteses e conclusões a respeito de fenômenos analisados.

4. Método de pesquisa

O presente estudo investigou o cenário de divulgação científica de pesquisas envolvendo EP's no ensino de Física do período compreendido entre 2010 a 2020. Como orientação metodológica, utilizamos a pesquisa bibliográfica. Através deste procedimento, identificamos, quantificamos, investigamos convergências e divergências entre as publicações analisadas.

Na primeira etapa desse trabalho, definimos as questões que nortearam essa investigação: Como os EP's podem ser utilizados no ensino de Física? Os EP's podem ser uma eficiente ferramenta pedagógica?

A pesquisa bibliográfica baseou-se em fontes de dados eletrônicos como: *Google Scholar*, Portal de Periódicos da Capes, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)* e *Springer*.

Durante as pesquisas, as palavras-chave em português: 'experimento de pensamento' e 'ensino de Física' foram usadas para a busca. Utilizamos também palavras-chave em inglês: 'thought experiment' e 'teaching physics'.

Utilizamos critérios de inclusão e exclusão de artigos como: a) selecionamos trabalhos publicados em periódicos com Qualis CAPES; b) optamos por analisar artigos publicados em revistas; c) analisamos artigos de revisão e pesquisas que utilizavam os EP's como propostas ou atividades desenvolvidas em sala de aula.

Após a seleção, nós mapeamos e descrevemos os artigos, e, por fim, analisamos as aplicações, metodologias e propostas de utilização dos EP's no ensino de Física. Posteriormente, avaliamos os pontos convergentes e divergentes em relação aos resultados obtidos.

5. Descrição e Análise dos Artigos

A busca inicial ocorreu nos meios digitais. Inicialmente, realizamos a pesquisa com as palavras-chave em português e encontramos 83 resultados. Posteriormente, executamos a busca em inglês e obtivemos 212 resultados. Os 295 artigos encontrados passaram pela leitura do título e do resumo. Após esta etapa, 35 artigos foram selecionados. Esses artigos foram lidos integralmente e, a partir da leitura e dos critérios previamente estabelecidos, selecionamos 16 artigos para realizar a leitura completa e análise, como segue no esquema abaixo.

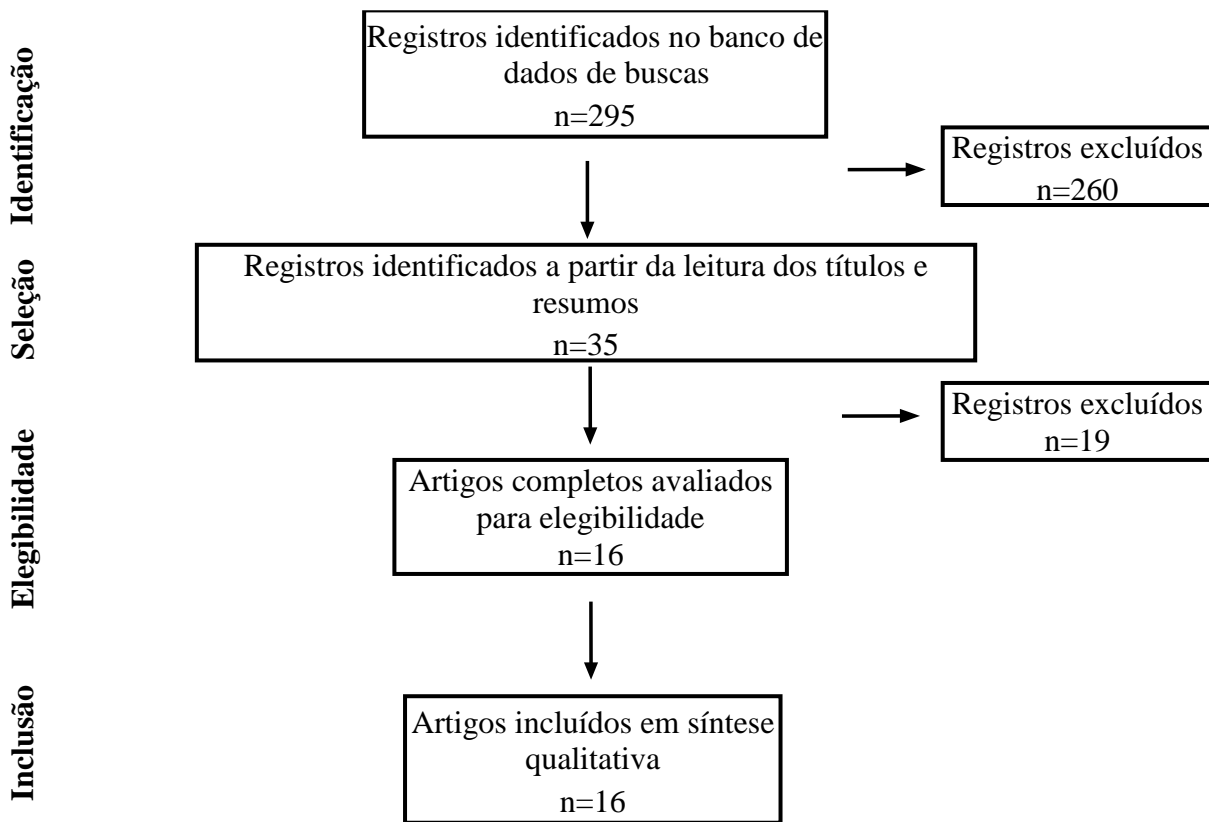


Figura 4 – Diagrama de exclusão dos artigos.

No Quadro abaixo são descritos os nomes dos periódicos, a classificação Qualis CAPES (área de avaliação de Ensino) e o título dos artigos.

Quadro 2 - Classificação dos periódicos e publicações analisadas.

Periódico	Qualis CAPES	Título da publicação
<i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i>	A1	Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas
<i>Investigações em Ensino de Ciências</i>	A2	A construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupo
		Experiências de Pensamento Científico em aulas de Física
<i>Ensino, Saúde e Ambiente</i>	A2	Experimentos de pensamento: uma proposta adjunta ao estudo e compreensão de conceitos físicos não-experimentáveis em ambientes educacionais
		From Earth to Heaven: using ‘Newton’s Cannon’ thought experiment for teaching satellite physics
<i>Science & Education</i>	A1	The nature and role of thought experiments in solving conceptual physics problems
		Probing pre- and in-service physics Teacher’s knowledge using the double-slit thought experiment
		Thought-experiments about gravity in the history of science and in research into children’s thinking
		Exploring How Students Construct Collaborative Thought Experiments During Physics Problem-Solving Activities
		Imagery, intuition and imagination in quantum physics education
<i>Cultural Studies of Science Education</i>	A1	Analyzing students learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach
<i>Journal of Science Education and Technology</i>	A1	The ‘Heisenberg’s Microscope’ as an example of using thought experiments in teaching physics theories to students of the upper secondary school
<i>Research in Science Education</i>	A1	The use of thought experiments in teaching physics to upper secondary-level students: two examples from the theory of relativity
<i>International Journal of Science Education</i>	A1	‘From the cat’s point of view’: upper secondary physics students reflections on Schrödinger’s thought experiment
<i>Physics Education</i>	B4	Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches
		Gravitational potential: a thought experiment

Verificamos que no Brasil é escasso o número de publicações sobre o tema. Na busca realizada entre (2010-2020) localizamos somente três artigos nacionais que utilizam os EP no ensino de Física.

Dentre os artigos selecionados, Kiouranis et al. (2010) mostrou-se relevante, pois faz uma explanação inicial sobre os EP's, seguido de uma verificação da literatura referente a sua utilização no ensino de Física. Os autores consideram que na literatura investigada, há evidências de que os EP's podem ser uma ferramenta útil para o tratamento de problemas conceituais e teóricos no ensino dos conceitos de Física.

Teixeira et.al. (2010) investigaram a construção da argumentação de alunos do ensino superior sobre a síntese Newtoniana. Os autores utilizaram o EP da 'queda da lua' de Newton como texto referência. Entretanto, apesar de usar o EP, não discutiram sua execução pelos alunos durante as aulas. Questões referentes aos princípios físicos envolvidos na leitura foram oferecidas, levando a discussões em grupo e ao desenvolvimento da argumentação. Os autores consideram que o EP utilizado auxiliou a ampliação da qualidade discursiva dos alunos.

Sampaio e Gomes (2016) examinaram algumas concepções históricas dos EP's, além de abordar um experimento teórico clássico, o EP do paradoxo dos gêmeos, apresentando-o como uma proposta para o ensino de física. Os autores avaliam um EP presente em materiais didáticos (Sistema Positivo), observando suas conexões com o Currículo Oficial do Estado de São Paulo para o Ensino de Física, juntamente com a Matriz de Referência para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Entretanto, ao finalizar o artigo, os autores questionam a utilização dos EP's e a possibilidade de conexão dos conceitos já existentes na estrutura cognitiva do estudante e os conceitos que ainda serão estudados. Este questionamento parece pertinente para possíveis discussões, pois trabalhos que utilizam EP's como Clement, (2009) e Gilbert e Reiner, (2010) analisam como os estudantes conseguem partir de conceitos já existentes e, por meio de discussões em grupo, convergir ideias, levantar hipóteses, possibilitando aos alunos alcançar ideias cientificamente aceitas.

Faria e Vaz (2018) realizaram uma pesquisa cujo objetivo é caracterizar EP's de estudantes do ensino médio. A pesquisa consiste na realização de três aulas, com a participação de oito alunos divididos em dois grupos. Os pesquisadores utilizam atividades relacionadas à dinâmica newtoniana, aplicando três problemas de diagramas de corpo livre. As atividades foram guiadas pelos *Tutoriais de Física Introdutória* de McDermott e Shaffer (1998), que são atividades curtas e realizadas em grupo, na maior parte das vezes, consistindo em atividade de lápis e papel. Os autores dividiram cada aula em cinco etapas: preleções, pequenos grupos, plenárias, sínteses e elaboração de registros escritos pelos estudantes no caderno.

Para análise dos resultados, foram utilizadas filmagens, notas de observação em sala e atividades dos alunos. Os pesquisadores concluem que os estudantes tiveram experiências educativas, porém com resultados diferentes. Eles atribuem a distinção dos resultados à interação do grupo, pois os participantes de um dos grupos não apresentam o mesmo interesse na realização das tarefas, o que pôde ser observado nas atividades escritas e nos diálogos. Os autores concluem que ambos os grupos utilizam seus conhecimentos e experiências anteriores para o desenvolvimento das atividades.

A transcrição dos diálogos durante as tarefas em grupo mostram que os estudantes desenvolveram discussões que auxiliaram na resolução de problemas. Segundo os autores, durante os diálogos observou-se que os alunos imaginam diferentes situações e, a partir destas situações, utilizam gestos e representações no papel para demonstrar o que estão pensando. Embora os autores não analisem os gestos e as discussões como situações de desenvolvimento de um EP, é possível inferir que os alunos desenvolvem as situações imaginárias, considerando a metodologia de análise desenvolvida por Clement (2009).

Os periódicos internacionais possuem maior número de publicações (doze), utilizando propostas de utilização dos EP's com estudantes em diferentes níveis de ensino. As análises dos EP's executados pelos alunos, em alguns casos, possuem uma discussão profunda a respeito dos processos que cercam o seu desenvolvimento e as possibilidades de contribuição para seu processo de aprendizagem.

Blown e Brice (2012) em uma pesquisa realizada na China e Nova Zelândia, investigaram como os EP's podem ser utilizados para averiguar concepções de gravidade, forma e movimento da Terra a partir de situações de queda dos corpos. O trabalho foi desenvolvido com um grupo de 257 alunos de diferentes faixas etárias, desde a pré-escola até o ensino médio. Eles compararam as pesquisas desenvolvidas nos países investigados, e analisaram se os conceitos referentes ao assunto abordado se desenvolvem da mesma maneira em culturas diferentes e também, se estes conceitos são construídos com coerência ou de forma fragmentada.

Os autores utilizaram três instrumentos de coleta de dados. Para os alunos da pré-escola e do ensino fundamental (3 a 12 anos), usam como método de pesquisa entrevistas piagetianas² com três mídias: linguagem verbal, desenho e modelagem de massa, com base em um guia de entrevistas. Os alunos do ensino fundamental e médio (13 a 18 anos) são empregados o mesmo tipo de entrevista, com questionários que devem ser respondidos por escrito, desenhos e modelagem de massa.

Os EP's estão presentes durante as etapas do estudo. Os alunos tiveram de imaginar situações que envolviam quedas e movimentos de bolas, bebidas e corpos caindo em buracos. Nesta pesquisa, os autores se concentraram em avaliar os resultados referentes aos conceitos de gravidade, forma da Terra e movimento. Embora, utilizem os EP's e os considere como uma forma eficiente de avaliação, os pesquisadores não abordaram questões referentes ao modo com os estudantes os conduzem.

Valentzas e Halkya (2011) executaram um experimento de pensamento do microscópio de Heisenberg, com 40 alunos divididos em 11 grupos, em uma escola de ensino secundário na Grécia. Eles pretendiam obter evidências de que os alunos, ao conduzirem o EP, conseguiriam alcançar os conceitos envolvidos. O método utilizado foi o 'teaching experiment', proposto por Komorek e Duit (2004), que os autores consideram eficiente para investigar processos de ensino e aprendizagem.

No 'teaching experiment' os experimentos e fenômenos que exigem explicações foram discutidos com os alunos (individualmente ou com grupos entre 2 e 4). Os pesquisadores assumiam

² Entrevistas individuais dentro de uma estrutura de perguntas abertas (BLOWN & BRICE, 2012).

dois papéis, de entrevistador e professor. Como entrevistador, interpretaram a concepção individual dos alunos, como professor, avaliaram as respostas para as percepções dos alunos, fazendo a intervenção adequada. Nas atividades em grupo, o papel do professor era apoiar as discussões entre os alunos e intervir quando a interação entre eles não estivesse adequada para a condução do experimento.

Os autores observaram que os alunos obtêm e aplicam a fórmula do princípio da incerteza, além de perceber seu significado e as principais consequências envolvidas. O estudo mostra que os EP's são uma ferramenta eficaz que pode auxiliar os estudantes a alcançar conceitos cientificamente aceitos, através das atividades mentais e discussões em grupos.

Semelhante ao artigo de 2011 Valentzas e Halkya publicaram dois estudos em 2013. Os artigos tratam sobre EP no ensino de Física. Uma destas publicações está no periódico *Science & Education*. O EP usa o canhão de Newton para relacionar os conceitos físicos envolvidos no movimento de satélites. A pesquisa também foi realizada com 40 alunos do ensino médio, divididos em 11 grupos. A sequência de atividades se desenvolveu com cada grupo em sessões de 2h, utilizando metodologia análoga à publicação de 2011, empregando entrevistas de ensino durante a condução do EP.

Os autores concluem que os estudantes conduzem o EP, embora consista em uma situação não familiar, como imaginar situações nas quais observam a Terra de um ponto externo. A partir da execução do EP os alunos concluem que um objeto lançado pode ser colocado em órbita em torno da Terra e, após isto, percebem que as mesmas leis da Física que descrevem o movimento da Lua em torno da Terra explicam também o movimento de objetos na Terra (VELENTZAS & HALKIA, 2013).

Valentzas e Halkya (2013) utilizaram a mesma metodologia, a partir de EP's de livros didáticos. Os experimentos conduzidos durante esta investigação promoveram o ensino de conceitos relativos à Física do século XX, como o 'elevador de Einstein' e o 'trem de Einstein'. As pesquisas apontam que os EP's possuem potencial para auxiliar no ensino de Física. Os alunos ao executarem o EP, fizeram uso de situações que fogem de seu cotidiano, levando a realizar atividades mentais que necessitam de alto nível de abstração. Estes experimentos aliados às discussões em grupo e aos questionamentos direcionados pelo professor convergem, na maior parte dos casos, como sugerem os resultados da pesquisa, para conceitos cientificamente aceitos, auxiliando o processo de ensino e aprendizagem de conceitos da Física.

Kösem e Özdemir (2013) descrevem as variações que os EP's podem ter em termos de natureza, propósito e recursos de raciocínio utilizados durante a solução de problemas de Física. Eles selecionaram para a pesquisa, participantes com baixo, médio e alto nível de conhecimento em Física. As atividades foram conduzidas individualmente, utilizando estratégias de pensar em voz alta e de questionamento retrospectivo, a qual auxilia a condução do experimento.

Os autores se questionaram: ao resolverem problemas de Física, os participantes com diferentes níveis de conhecimento de Física constroem experimentos de pensamento? Se sim, como a experimentação varia em termos de: (i) a natureza do experimento de pensamento; (ii) o propósito de gerar experimentos de pensamento; (iii) os recursos utilizados pelos participantes durante a realização de experimentos de pensamento?

Os pesquisadores categorizaram quatro estruturas experimentais como casos limitantes, caso extremo, caso simples e caso familiar. Classificaram o processo de raciocínio utilizado no EP

em termos de fatos observados, princípios intuitivos e conceitos científicos. Os autores enfatizam que em todos os níveis os participantes utilizaram ferramentas do aparato cognitivo, possibilitando observar o processo de raciocínio dos alunos durante os EP's, além de desenvolver capacidades investigativas durante a condução dos experimentos. Eles destacam que para cada nível de conhecimento de Física, ocorrem algumas variações a respeito dos propósitos da condução dos experimentos, e, em alguns casos, teria o objetivo de explicação, confirmação ou exemplificação.

Asikainen e Hirvonen (2014) investigaram, durante um curso de formação continuada, a possibilidade de ampliar conceitos de Física Quântica a partir de fenômenos conhecidos na história da ciência. Eles pesquisaram qual a compreensão do público alvo a respeito dos conteúdos científicos envolvidos no EP de dupla fenda. Os autores empregam a metodologia desenvolvida por Reiner (1998), em que o EP é dividido em cinco etapas, sendo cada uma destas analisadas posteriormente. Eles realizaram uma avaliação diagnóstica a respeito do EP, na qual utilizou testes de lápis e papel e perguntas abertas.

Os resultados mostram que somente um pequeno número de candidatos descreve corretamente os pressupostos do EP. Os autores relacionam a dificuldade dos demais candidatos à falta de conhecimentos prévios que permitam a execução do EP. Entretanto, consideram que a utilização dos EP's pode ser benéfica para auxiliar a compreensão conceitual. As atividades realizadas através de discussões podem auxiliar o seu desenvolvimento, contribuir para reduzir inconsistências de ideias intuitivas de forma a convergir em conceitos científicos adequados para a investigação.

Hernández et al. (2014) verificaram a progressão da aprendizagem de alunos de 15 a 16 anos em relação as propriedades acústicas dos materiais. Eles visavam investigar os processos de modelagens utilizados, identificando modelos e atividades que auxiliem os estudantes na aprendizagem do tema proposto. Os EP's foram inseridos em algumas etapas das sequências de atividades. Estas etapas buscaram desenvolver o modelo conceitual para cada assunto abordado.

Os autores sugerem que os EP's são atividades que facilitam o desenvolvimento dos modelos mentais dos alunos durante a pesquisa. Eles consideram que os EP's permitem que os estudantes utilizem analogias e, desta forma, auxiliem na compreensão dos conceitos científicos abordados. O artigo apesar de utilizar os EP's e os considerar como uma importante ferramenta para o ensino de conceitos científicos, não visa investigar como ocorre sua realização durante o processo de execução.

Henriksen et al. (2014) apresentam uma abordagem de ensino baseada na web, chamada *Relequant*. Eles utilizaram a linguagem oral, escrita, uma exploração colaborativa de animações e simulações no processo de aprendizagem. Os autores adotaram o EP do gato de Schrödinger, e destacam algumas categorias que são desenvolvidas a partir das respostas dos alunos. Porém, não descrevem com detalhes, como ocorre a condução desta atividade, nem a forma de execução do EP pelos alunos. Entretanto, em uma publicação de 2016, foram apresentados os resultados deste EP de forma mais específica.

Myhrehagen e Bungum (2016) descrevem como se desenvolveu o EP do gato de Schrödinger e também usaram a abordagem *Relequant*. Eles ressaltam que apesar de um grupo de alunos convergirem ideias científicas, contudo, consideram que a falta de conhecimento sobre o objetivo e o contexto histórico do EP limita a compreensão dos estudantes sobre o conteúdo da Física. Eles sugerem que aliar os EP a uma perspectiva histórica, poderia auxiliar os alunos a compreensão dos conceitos e da percepção do desenvolvimento da Física.

Na maior parte dos artigos selecionados, avaliamos as aplicações de EP's com alunos. Entretanto, na pesquisa de Baird (2015), utilizou um EP chamado "potencial gravitacional". O EP é uma analogia entre o campo gravitacional, potencial eletrostático e superfícies equipotenciais. Baird considera que o EP pode facilitar a compreensão conceitual dos alunos, embora não exemplifique nenhuma aplicação com estudantes.

Stapleton (2018) publicou um fórum no qual faz considerações sobre o artigo "Shut up and calculate: the available discursive positions in quantum physics courses", dos autores Johansson et al. (2016). Neste fórum, o autor analisa a utilização do formalismo matemático em oposição à compreensão dos conceitos físicos envolvidos na Física Quântica. Ele argumenta a favor da utilização da imaginação, da criatividade, da intuição física e da capacidade de abstração dos conceitos já conhecidos da Física Clássica, para alcançar a compreensão dos conceitos de Física Quântica.

Stapleton descreve o papel dos EP's no ensino, além de jogos, diálogos e outras metodologias que podem auxiliar o processo de aprendizagem. Ele ressalta um trecho, do artigo de Johansson et al. (2016), no qual é relatado o uso de um EP em uma das etapas da aula.

Uma percepção crítica para mim foi quando os pesquisadores explicaram como o professor apresentou um experimento de pensamento durante um intervalo de aula que permitiu aos alunos explorar as questões mais complexas da física quântica. Esse evento e a descrição resultante do envolvimento e da conversação dos alunos demonstram o poder dos experimentos de pensamento e os destaca ainda mais como um elemento importante no currículo de física e justificam a necessidade de múltiplos modos de representação, e um pluralismo epistemológico na física como um elemento importante para desenvolver a compreensão (STAPLETON 2003, p. 248, tradução nossa).

Durante esta etapa, ele avalia que os eventos são descritos, discutidos e há um engajamento que auxilia a compreensão dos conceitos. Portanto, considera o EP uma importante ferramenta no ensino de Física.

Bancong e Song (2020) desenvolveram uma pesquisa cujo objetivo foi 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. Eles aplicaram cinco EP's, com a participação de 12 alunos (6 alunos de mestrado e 6 de graduação, com formação em Física), divididos em 3 grupos.

A pesquisa utilizou 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 "Por que 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 utilizaram também, os processos desenvolvidos por Clement (2009), uma metodologia de análise de discursos e gestos, a qual demonstra indícios de que EP's estão em desenvolvimento.

Os pesquisadores concluem que os alunos desenvolvem seus EP's, descrevem os resultados e os compartilham. Durante esse processo, os autores relatam a ocorrência 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.

6. Discussão

Após leitura e comentário inicial dos temas abordados pelos artigos selecionados e avaliação das conclusões e ressalvas a respeito da utilização dos EP's no ensino de Física, é possível traçar algumas ponderações. A análise dos resultados obtidos pelos trabalhos que utilizam os EP's em atividades didáticas indica uma convergência no que tange a aplicação do EP como uma ferramenta pedagógica auxiliar para a compreensão conceitual de Física.

Os artigos que discutem o desenvolvimento dos EP's com alunos, 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), relatam que a atividade deve preferencialmente ser realizada em pequenos grupos ou individualmente. O professor deve atuar como um guia para os alunos durante a atividade de emprego do EP. O EP tem o papel de auxiliar a condução dos pensamentos e intuições dos alunos não permitindo que insiram situações que não sejam pertinentes ao fenômeno investigado e nem deixem de considerar questões fundamentais para sua condução.

No artigo "On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education", Reiner e Burko (2003) discutem as limitações das atividades que utilizam EP's com estudantes. Eles argumentam que o auxílio do professor e também as discussões em grupo são fundamentais para reduzir a possível confusão que pode surgir.

O erro não deve ser visto como uma falha, mas como uma possibilidade de ampliar discussões e análises mais profundas e, com isto, ser uma oportunidade para auxiliar o desenvolvimento intelectual. A ciência é um empreendimento humano racional, sujeito a erros, que não devem ser considerados um obstáculo que impede o desenvolvimento científico, mas como oportunidade para realizar novas inferências e desenvolver novos conhecimentos. Nesta perspectiva, o erro, sua identificação e correção podem ser vistos como uma estratégia pedagógica para promover o raciocínio científico.

Reiner (1998) sugere que para minimizar as possibilidades de erros, deve-se inicialmente apresentar EP's pensados por físicos (desenvolvidos ao longo da História). Estes experimentos permitem que os alunos se familiarizem com a potencialidade dos EP's e a construção de

argumentos, além de obter um olhar para os processos de pensamento que moldam os princípios e conceitos da Física. Na sequência, os estudantes devem gerar seus próprios EP's espontaneamente. Neste processo, os alunos podem utilizar diagramas e representações através de imagens, como uma ferramenta de visualização do que é construído na mente.

As atividades de EP's devem ser realizadas em grupo, como aponta a maior parte dos artigos analisados. Os conceitos desenvolvidos por Vygotsky (1994) podem ser considerados para justificar esta modalidade de resolução de problemas. Para Vygotsky, o desenvolvimento do estudante consiste em um processo de aprendizagem da utilização de ferramentas intelectuais. Este processo ocorre pela interação e comunicação com outros sujeitos que já possuem maior habilidade na utilização frequente dessas ferramentas. Portanto, as atividades em grupo tornam-se instrumentos importantes para o desenvolvimento das tarefas a serem realizadas, assim como auxiliar na construção de novos conceitos e estratégias para resolver as situações apresentadas.

As atividades em grupo também contribuem para reduzir a ocorrência de erros durante o a atividade de EP. No entanto, ao emergir, o erro pode ser visto a partir de um enfoque construtivista, no qual deve ser considerado como parte da descoberta e da construção do conhecimento, ou seja, uma etapa necessária para permitir que o próprio aluno detecte e corrija a falha. Durante as discussões sociais, o processo de pensamento e a construção das conclusões são negociadas, levando ao refinamento dos conceitos desenvolvidos.

As pesquisas sugerem que os EP's são ferramentas importantes como atividades investigativas. O EP exige que o aluno mobilize suas faculdades mentais e as utilize para desenvolver a capacidade de concentração e foco de atenção, construção de hipóteses, utilização de argumentos lógicos e solução de problemas, em suma, treinar o raciocínio. A principal vantagem é o desenvolvimento do pensamento hipotético-dedutivo que é típico de inferências científicas. Formular hipóteses e avaliá-las, identificar erros e inferir consequências a partir do método dedutivo, é uma ferramenta eficaz de treinamento do pensamento que pode ser útil em outros âmbitos da vida. Inclusive, supõe-se que o refinamento destas habilidades teria implicações em outras formas de raciocínio, externas ao ambiente científico, como a vida prática do aluno.

Entretanto, Asikainen e Hirvonen (2014) apontam dificuldades no desenvolvimento das atividades de EP pelos alunos. Uma das causas destas dificuldades poderia surgir em virtude da falta de conhecimentos prévios a respeito do tema investigado. Os autores consideram que os conhecimentos prévios auxiliam a compreensão e condução do EP.

Apesar dos conhecimentos prévios serem importantes para o desenvolvimento do EP, deve-se oferecer aos alunos atividades que envolvam a capacidade de imaginar, criar e conduzir os experimentos. Os EP's apresentados aos alunos devem envolver situações-problemas em que os alunos ainda não conheçam os resultados para que, desta forma, possam desenvolver hipóteses, testá-las mentalmente e discuti-las em grupo.

Clement (2008) considera que há várias possibilidades de utilização dos EP's. Por exemplo, utilizar analogias a partir de situações de maior familiaridade para desenvolver modelos explicativos. O aluno inicialmente usa analogias, para posteriormente, simular novas situações em suas mentes, desenvolvendo previsões ainda não testadas.

A análise dos artigos permite inferir que a variabilidade metodológica no emprego de EP's é uma ótima ferramenta pedagógica. Apesar dos diferentes métodos, os trabalhos analisados

convergem em considerar os EP's como uma estratégia que auxilia os estudantes a construir conhecimentos científicos mediante o treinamento no raciocínio científico.

Os EP's podem ser vistos como ferramentas didáticas que auxiliam os alunos a utilizar ativamente a capacidade cognitiva ao longo de sua condução. Seus conhecimentos prévios, conhecimentos tácito, experiências prévias e intuição são utilizados durante o desenvolvimento, levando-os a formular hipótese e defendê-las durante as discussões, auxiliando-os a desenvolver a capacidade de argumentação.

7. Considerações Finais

O ensino de Física no cenário educacional atual enfrenta alguns problemas, como a falta de compreensão dos conceitos por parte dos alunos e a capacidade de construir argumentos lógicos. Há ainda limitações materiais como falta de recursos para realizar experimentos reais. A fim de sanar estas falhas, várias pesquisas com o foco no ensino de Física foram propostas com o objetivo de investigar estratégias que minimizem estas limitações. Uma proposta pouco explorada é a aplicação de EP.

Neste artigo realizamos uma revisão de literatura sobre o tema EP como instrumento didático no ensino de Física no período entre (2010-2020). A análise dos artigos, permitiu verificar que os autores consultados nesta pesquisa, convergem em um ponto: os EP's são ferramentas cognitivas eficientes no ambiente de ensino de teorias científicas.

Os estudos consideram que as atividades de EP, aplicadas como uma ferramenta didática, devem ser realizadas em grupo. Podemos considerar que os conceitos desenvolvidos por Vygotsky fornecem um amparo teórico que justifica a interação social como um recurso indispensável na aprendizagem. A interação entre os diferentes sujeitos pode auxiliar na construção de novos conceitos científicos.

A explanação de ideias e discussões em grupo auxilia também no aperfeiçoamento dos argumentos das situações imaginadas, permitindo que possíveis erros possam ser minimizados. Entretanto, os erros não devem ser vistos como uma falha. As atividades em grupo podem ser conduzidas a discussões que levem os estudantes a perceberem seus erros e procurar novos argumentos que busquem justificar a situação imaginada. Portanto, o erro pode ser visto como mais uma forma de promover uma situação investigativa que leve o aluno a construir o aprendizado.

As dificuldades ocorridas na construção das explicações para as situações imaginadas são capazes de proporcionar discussões sobre como ocorre a construção da ciência, através de erros e acertos. O professor pode utilizar essas situações para demonstrar para o aluno como a ciência se desenvolve, ampliando a sua percepção sobre a ciência e reduzindo concepções errôneas sobre a sua natureza.

As atividades que utilizam os EP's demonstram potencial didático ao serem exploradas no laboratório da mente. Elas permitem o desenvolvimento de habilidades criativas, de utilização de ferramentas lógicas, de construção de argumentos e comunicação, que auxiliam no processo de construção dos conceitos envolvidos.

Embora os EP's sejam amplamente utilizados pelos cientistas e filósofos, a sua utilização no ensino de ciências ainda demanda futuras investigações. Alguns questionamentos ainda

persistem: Como ensinar um aluno a executar e desenvolver um EP? Quais são os conhecimentos prévios necessários para a execução de um EP? Quais idealizações o aluno deve fazer para desenvolver o EP? Como construir sequências de atividades que levem os alunos a construir um EP? Como mediar as negociações entre os alunos? Dentre outras indagações.

Novas pesquisas são necessárias para obter evidências e informações a respeito da execução destes experimentos na mente dos estudantes. Em nossa opinião, os EP's têm um grande potencial de aplicabilidade com a finalidade de contribuir para reduzir as dificuldades no ensino de Física. Nossa revisão sugere que o EP tem grande potencial pedagógico em sala de aula no que tange ao ensino de teorias da Física e desenvolvimento do raciocínio científico.

8. Referências bibliográficas

- Asikainen, M.A., & Hirvonen, P.E. (2014). Thought Experiments in Science and in Science Education, 22 (2), 1235–1256.
- Bancong, H., & Song, J. (2020). Exploring How Students Construct Collaborative Thought Experiments During Physics Problem-Solving Activities. *Science and Education*, 29 (3), 617–645.
- Blown, E. J., & Bryce, T. G. K. (2012). Thought-Experiments About Gravity in the History of Science and in Research into Children's Thinking. *Science & Education*, 22(3), 419-481.
- Brown, J. R. (1991). *The laboratory of the mind: thought experiments in the Natural Sciences*. London: Routledge.
- Cesar, M., Neves, D., Batista, J. M., Costa, J. R., Gomes, L. C., Batista, M. C., Pereira, R. F. (2008). Galileu fez o experimento do plano inclinado? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 226–242.
- Clement, J. (2008). Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. Dordrecht: Springer.
- Clement, J. (2009). Analogical reasoning via imagery: The role of transformations and simulations. *New Frontiers in Analogy Research*, *New Frontiers in Analogy Research*, In B. Kokinov, K. Holyoak, and D. Gentner, *New frontiers in analogy research*. Sofia: New Bulgarian University Press, 463–472.
- Demoures, F. X.; Monnet, É. (2005) Le monde à l'épreuve de l'imagination. Sur'expérimentation mentale. *Revue Tracés*, (9), 37–51.
- Einstein, A. (1982). *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova fronteira.
- Faria, A. F., & Vaz, A. de M. (2018). Experiências De Pensamento Científico Em Aulas De Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23 (1), p. 266-294.
- Gilbert, J. K., & Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Henriksen, E. K., Bungum, B., Angell, C., Tellefsen, C. W., Fragat, T. & Bøe, M. V. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches. *Physics Education*, 49 (6), 678-684.

- Henry, J. (1998). *A Revolução Científica e as Origens da Ciência Moderna*. Tradução: Maria Luiza Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Hernández, M.I., Couso, D., Pintó, R. (2015). Analyzing student's learning progressions throughout a teaching sequence on Acoustic Properties of Materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 356-377.
- Kiouranis, N. M. M.; Souza, A. R.; Filho, O. S. (2010). Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(1), 1507-1 - 1507-10.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633.
- Kösem, S. D., & Özdemiror, O.F. (2013). The Nature and Role of Thought Experiments in Solving Conceptual Physics Problems. *Science & Education*, 23(4), 865-895.
- Koyré, A. (1991). *Estudos de História do Pensamento Científico*. Tradução e revisão técnica de Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Forense universitária.
- Kuhn, T. S. (1977). A function for Thought Experiments. In: *The essential tension*. Chicago: University of Chicago, 19-39.
- Mach, E. (1976). On thought experiment. In: *Knowledge and error* (pp. 134–147). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- McAllister, J. (1996). The evidential significance of Thought Experiment in science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 27 (2), 233-250.
- Myhreagen, H. V., & Bungum, B. (2016). 'From the cat's point of view': upper secondary physics students' reflections on Schrödinger's thought experiment. *Physics Education*, 51 (5), 1-8.
- Norton, J. D., & Norton, J. D. (2014). On Thought Experiments : Is There More to the Argument, *Chicago Journals*, (5)71, 1139–1151.
- Popper, K. (1974). *A sociedade aberta e seus inimigos*. São Paulo: Edusp.
- Popper, K (1980). *Conjecturas e refutações: o progresso do conhecimento científico*. Brasília: Editora da UNB.
- Reiner, M. (1998). 'Collaborative Thought Experiments in Physics Learning'. *International Journal of Science Education* 20(9), 1043–1059.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.
- Reiner, M. & Burko, L.M. (2003). On the Limitations of Thought Experiments in Physics and the Consequences for Physics Education. *Science & Education*, 12(4), 365–385.
- Rescher, N. (1991), "Thought Experiment in Pre-Socratic Philosophy". In Horowitz, T.; Massey, G.J. (ed.), *Thought Experiments in Science and Philosophy* (pp. 31–41). Savage: Rowman & Littlefield.

Sampaio, G. M. & Gomes, E. F. (2016). Experimentos de pensamento: uma proposta adjunta ao estudo e compreensão de conceitos físicos não experimentáveis em ambientes educacionais. *Ensino, Saúde e Ambiente*, 9 (2), 1-11.

Santos, C.A., & Silveira, F.L. (2016). Einstein surfando em uma onda de luz: a história mal contada de um experimento idealizado. In: Santos, C.A (ed.). *Sobre a luz e algumas de suas tecnologias* (pp. 2-12). São Paulo: UEPG.

Stapleton, A. J. (2018). Imagery , intuition and imagination in quantum physics education. *Cultural Studies of Science Education*, 13(1), 227-233.

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

Teixeira, E.S., Neto, C.P.S., Freire Jr., O., Greca, I.M. (2010). A construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividade em grupo. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15(1), 61-95.

Tortop, H. S. (2016). Why Thought Experiments Should Be Used as an Educational Tool to Develop Problem-Solving Skills and Creativity of the Gifted Students? *Journal of Gifted Education and Creativity*, 3 (3), p. 35–48.

Velentzas, A., Halkia, K., & Skordoulis, C. (2007). Thought Experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics : Their Presence in Textbooks and in Popular Science Books, *Science & Education*, 16 (3), 353–370.

Velentzas, A., Halkia, K.; Skordoulis, C. (2007). Thought Experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics : Their Presence in Textbooks and in Popular Science Books, *Science & Education*. 16 (3), 353–370.

Velentzas, A., & Halkia, K. (2011). The ‘Heisenberg’s Microscope’ as an example of using thought experiments in teaching physics theories to students of the upper secondary school. *Research in Science Education*, 41 (4), 525–539.

Velentzas, A., & Halkia, K. (2012). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students : Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35 (18), 3026-3049.

Velentzas, A., & Halkia, K. (2013). From Earth to Heaven : Using ‘Newton’ s Cannon ’ Thought Experiment for Teaching Satellite Physics. *Science & Education*, 22 (10), 2621-2640.

Vygotsky, L.S. (1994). *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.