

## A Circulação do Princípio da Equivalência através dos artigos e dos livros de divulgação científica.

## The Circulation of the Principle of Equivalence through papers and popular science books.

**Charles Xavier Rabelo**

PPGECT - UFSC

charles.rabelo1993@gmail.com

**Juarez Dal'Acqua Junior**

PPGECT- UFSC

ju\_dalacqua@hotmail.com

### Resumo

Experimentos Mentais (EM) são um recurso recorrente e imprescindível na evolução da teoria da relatividade. Autores da área concordam que os EM têm uma estrutura narrativa, que nos permite analisá-los como um recurso literário. Os textos analisados foram os artigos de 1907 e 1911 de Einstein, assim como os livros de divulgação científica *a Teoria da Relatividade Especial e Geral* e *A evolução da física*. Observamos a semelhança das estruturas e elementos narrativos que os compõe, e explicitamos as diferenças entre forma em textos voltados para diferentes públicos, mas com o mesmo conteúdo. Como conclusões ressaltamos: os livros mantêm a natureza matemática de alguns elementos da narrativa dos artigos, mas modifica outros. O primeiro livro, de 1916, possui características narrativas mais próximas do círculo esotérico da física que o segundo, de 1938, portanto seu principal objetivo era possibilitar a circulação da Teoria da Relatividade Geral entre os físicos.

**Palavras chave:** Experimentos Mentais, Relatividade, Narrativas, Fleck, Matemática.

### Abstract

Thought Experiments (TE) are a recurrent and indispensable resource in the evolution of the theory of Relativity. Authors of the reasearch area agree that TE have a narrative structure, which allows us to analyze them as a literary resource. The texts analyzed were Einstein's 1907 and 1911 papers, as well as the science divulgation books, *Special and General Theory of Relativity* and *The Evolution of Physics*. We observed the similarity of the structures and narrative elements that compose them, and we do explicitate the differences between form in texts that aim at different audiences, but with the same content. As conclusions, we emphasize: the books maintain the mathematical nature of some elements of the paper's narratives, but modify others. The first book, from 1916, has narrative characteristics closer to the esoteric circle of physics than the second, from 1938, so its main objective was to enable the circulation of the General Theory of Relativity among physicists.

**Key Words:** Thought Experiments, Relativity, Narratives, Fleck, Mathematics.

## Introdução

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar as características narrativas de um Experimento Mental (EM), fundamental para a Teoria da Relatividade Geral (TRG), o EM do elevador, que textualiza o Princípio da Equivalência (PE). Na ordem temporal ele aparece primeiro nos dois artigos originais da TRG (EINSTEIN, 1907)(EINSTEIN, 1911), e posteriormente em dois livros de divulgação científica (EINSTEIN; INFELD, 1988)(EINSTEIN, 1999). Buscaremos identificar que características da narrativa e da forma foram alteradas e avaliaremos possíveis razões para sua alteração, além de possíveis impactos na produção de significado do texto. Entretanto as conclusões obtidas não buscam a verdade última, são apenas relacionados e interpretados os fatos em uma certa estrutura lógica.

Para tanto, construímos um referencial teórico metodológico de análise apoiados em uma concepção do que são EM, seguido de um breve resgate as ideias de Fleck (2010), concepção de narrativas de Gancho (2004), do qual a análise dos textos se baseia e, por a TRG ser uma teoria essencialmente geométrica, apresentamos uma interpretação sobre a relação entre física e matemática. A seguir apresentamos também algumas perspectivas sobre EM e entendendo como estas perspectivas conversam com a nossa.

## Referencial Teórico Metodológico

### Um processo externalizado

O termo “experimento mental” é constituído de duas partes, o “experimento” e o “mental”. “Experimento”, do latim *Experimentum* se refere ao ato de experimentar, uma situação, controlada ou não, de onde algum conhecimento é adquirido, não sem antes passar por **pressuposições** e **interpretações**. A palavra “experimento” possui um sentido muito profundo com a palavra “conhecimento”, de modo que “inexperiência” é um adjetivo para a ausência de experiência, ou ausência de conhecimento de um indivíduo. Já o “mental” se refere a um fenômeno ocorrido dentro da mente, que se faz em pensamento<sup>1</sup>, também possui uma raiz no latim, *Mens*. Um EM é um fenômeno mental, de onde a conclusão gera novos conhecimentos, à luz de uma interpretação. A interpretação neste sentido é extremamente importante, pois diferentes interpretações da realidade (*Weltanschauung*) levam a diferentes conclusões, e até mesmo diferentes constituições de EM.

Ainda é importante ressaltar a diferença da interpretação para um EM. Para isto suponha uma observação de algum fenômeno real aleatório, o que acontece? O sujeito em questão (observador) associará o fenômeno, desconhecido ou não, aos fenômenos e conceitos já conhecidos e estabelecidos através da linguagem. Aqui vale ressaltar a diferença entre *Representação mental* e *Signo*: A representação mental é o conceito dentro da mente do sujeito, que é inacessível. O signo é aquilo que transmite uma ideia, um bem comum. Ambos os conceitos se relacionam, de maneira quase indissociável<sup>2</sup>(HALL, 2016, p. 32 - 55).

Uma das consequências dessa diferenciação é a delimitação do que é interno e o que é externo.

<sup>1</sup>O termo ‘Experimento de pensamento’, então, é completamente equivalente.

<sup>2</sup>Consideramos a representação mental anterior ao signo, uma vez que o signo tem um aspecto de comunicação inerente e a representação não.

No caso dos EM temos um processo que é ambas as coisas. Sem sombra de dúvidas, o EM é um processo interno, que ocorre na mente do sujeito, a demonstração é trivial e fica a cargo do leitor. Entretanto o EM como um processo externo merece certa atenção. Algo externalizado, significa algo acessível, de modo que outros podem interagir e até mesmo se apropriar desse algo. A maneira com que nós humanos realizamos esse processo de externalização passa pela linguagem. Os signos significam na medida que carregam sentidos construídos pela comunidade, num processo cíclico de apropriação e uso (HALL, 2016, p. 24). É possível que um comunicante consiga transmitir o conteúdo interno através de significados compartilhados, comuns, assim o ouvinte consegue reproduzir, também internamente, um processo semelhante. Ou seja, embora sem sombra de dúvidas inacessível, o EM é replicável através da linguagem.

O EM como um processo externo, é ainda um reflexo, ou um rastro do processo interno. Uma vez que o processo interno é inacessível, a comunicação dele implica em recortes e adaptações<sup>3</sup>. A interação entre duas mentes ocorre por meio da linguagem, assim como a interação entre duas cargas elétricas ocorrem pelo campo, ela não é direta, é intermediada. O limite da linguagem é o limite da significação, quanto mais detalhado os conceitos internos são, mais próximo a reprodução por pares se torna.

De modo que

“Os pensamentos circulam de indivíduo a indivíduo, sempre com algumas modificações, pois outros indivíduos fazem outras associações. A rigor, o receptor nunca entende um pensamento da maneira como o emissor quer que seja entendido. Após uma série dessas peregrinações, não sobra praticamente nada do pensamento original. De quem é o pensamento que continua circulando? Nada mais é do que um pensamento coletivo, um pensamento que não pertence a nenhum indivíduo.” (FLECK, 2010, p. 85)

Além da noção de origem do conhecimento através da construção coletiva, via circulação de pensamentos, Fleck também elabora a noção de círculos Esotérico e Exotérico. Onde,

“O círculo esotérico é formado por especialistas que já dominam os códigos e procedimentos relacionados à resolução daquele problema conforme aquela área. Já o círculo exotérico, seria formado pelos “leigos instruídos”, que não são especialistas, mas se relacionam com o saber produzido pelo círculo esotérico, ao compartilharem o mesmo estilo de pensamento.” (FIORESI, 2020, p. 39)

Esta concepção nos permite entender que a gênese do conhecimento não é apenas interna, o ato de externalização o altera, assim construindo-o também. Além disso, no tráfego tanto de especialista para leigos, como no inverso, há variações no formato e no conteúdo do texto, que contrastam, nomeadamente: *Segurança* na colocação dos conceitos e ideias, *Simplicidade* no vocabulário e *Plasticidade (Anschaulichkeit)* dos termos nos textos voltados ao círculo Exotérico; Caráter *Hipotético e pessoal* das afirmações, vocabulário *grande e complexo* e *Rigidez* dos termos, sendo bem definidos e delimitados, para o círculo Esotérico. Estes aspectos apontados por Fleck guiam a análise. Atenta-se ao fato de que não consideramos os círculos Eso- e Exo- como fechados, ou bem delimitados, uma pessoa não tem uma relação binária com eles<sup>4</sup>, mas continua, aceitando um número infinito de valores.

Baseado nestas noções concebemos o EM como um processo que não apenas textualiza um conhecimento (como uma simples transmissão), mas também o coloca em questão, conflita e

<sup>3</sup>Basta pensar em quão frequentemente metáforas e analogias são utilizadas.

<sup>4</sup>Do tipo que só aceita dois valores: dentro ou fora

centraliza conceitos.

Para a análise de EM significa interpretar não o processo diretamente, mas os rastros de um processo mental interno, que é sua parte externalizada, sujeito aos recortes do autor do EM. De maneira genérica, interpretar é um processo que nos faz analisar os significados construídos, isto é ler, e se é possível ler algo, este algo é um texto.

É bastante difundida a ideia de EM possuírem uma estrutura narrativa, em particular, Nancy J. Nersessian (1992b) propôs que “as narrativas dos experimentos mentais funcionam de forma parecida com outras narrativas”(NERSESSIAN, Nancy J., 1992b, p. 5, Tradução nossa).

Resumidamente, as características as quais a autora se refere são: 1) A narrativa tem o caráter de simulação. Ela (a narrativa) convida o leitor/ouvinte a imaginar uma **cena dinâmica, que se desdobra no tempo**, e segue uma sequência causal específica. 2) O leitor interpreta **como se estivesse no mundo real**. Ou seja: mesmo que a situação pareça bizarra ou fantástica ainda preserva verossimilhança. 3) O significado de uma narrativa não está contido nela própria. Ele é **interpretado pela comunidade**, as vezes depois de intenso debate e pode ser diferente daquele que o autor tinha em mente.

Entretanto, o que diferencia um EM de outras narrativas? Segundo Egan (2016) EM diferem de obras da literatura nos seguintes pontos: EM estão intimamente envolvidos com argumentos; onde cada elemento tem uma representação simbólica de algum aspecto do problema em questão, de modo que o problema é o ponto central e sua interpretação é única; e a leitura de um EM provoca um posicionamento crítico que se importa com a validade, verdade e justificação. Enquanto obras de literatura, embora não esteja totalmente a parte de argumentos, eles não são o ponto central, um EM pode ser reconstruído de outro modo e ter o mesmo efeito, uma obra literária não; A leitura de literatura permite múltiplas interpretações embora não seja necessário a existência de alguma; e provocam posicionamentos críticos que se importam com estilo, nuance e acuidade psicológica.

Embora haja muitas diferenças, não quer dizer que uma obra de literatura não possa funcionar como um EM. Não queremos dizer que elas não co-existem. Na prática, todo recurso é válido, desde que os fins sejam nobres.

Porém Egan está considerando EM de maneira geral, aqui discutimos apenas EM nas ciências naturais. Uma das principais características dos EM nesta área é as consequências no mundo real, diferente da literatura, os EM nas ciências naturais são situações que podem vir a ser reais<sup>5</sup>(NERSESSIAN, Nancy J, 1992a; MIŠČEVIĆ, 1992). Mesmo que, como aponta Davies (2012), os EM não busquem uma fidelidade com a realidade, o que a literatura por sua vez faz através de um efeito que também é conhecido como verossimilhança. Esta mudança de perspectiva pode ser, na minha concepção, devido ao caráter de realidade implícito ao EM: embora não seja uma situação real, as consequências do EM podem tornar à realidade, de modo que a vontade de verdade é conservada, na literatura é necessário “iludir” o leitor, faz-lo imergir na história através da imaginação.

Na seção seguinte esta ligação com a realidade será melhor aprofundada. Mas antes de continuar, é importante ressaltar uma diferença sutil que, nesta discussão, nos permitirá ampliar os usos e identificações de EM em geral. Suponha o termo *Experiência Mental*. Poderíamos utiliza-lo como substituto de *Experimento Mental*? Ora os termos *Experiência* e *Experimento* são sinônimos, mas as diferenças, além do gênero, repousam na objetividade: o experimento sempre tem algum tipo de finalidade, enquanto a experiência muitas vezes não é planejada.

<sup>5</sup>Embora eu acredite, inicialmente, que é um aspecto extensível para todos os EM.

Um exemplo para contraste: um sujeito pode ter experiência em morar no Brasil, enquanto um estrangeiro pode fazer o experimento de morar no Brasil. Não é como se o estrangeiro não adquira experiência após ter morado no Brasil, não estamos separando as coisas.

Agora respondendo a pergunta do parágrafo anterior, e também definindo o que seria uma experiência mental, podemos diferenciar uma experiência, no sentido usual, de uma experiência imaginada, que seria uma situação imaginada a partir de pressupostos empíricos, analíticos e temáticos<sup>6</sup>. Esta experiência mental pode ocorrer de diversas maneiras, e.g. ler um texto literário, assistir uma peça de teatro ou ver um filme<sup>7</sup>. Dentro do conjunto de exemplos de experiências mentais estão incluídos os experimentos mentais<sup>8</sup>, sendo a principal diferença entre experiência mental e experimento mental a objetividade: O EM sempre a tem, a experiência não precisa de um objetivo, embora ela possa existir.

Aliamos estas características à estrutura geral de análise proposta por Gancho (2004). Estas características são: Enredo, é a estrutura geral de uma narrativa (e.g. fábula, ação); Personagens que é aquilo que tem ação e características dentro da narrativa; Tempo, linearidade cronológica ou não dos fatos; e Espaço, o lugar onde se desenrola a narrativa.<sup>9</sup>

Segundo a autora, o Enredo é composto por quatro partes: exposição, que é a apresentação do contexto da narrativa; Complicação é o desenvolvimento de um problema; Clímax, é o momento de máxima tensão, ponto alto da narrativa onde as coisas impactantes acontecem; e o Desfecho, onde se conclui a narrativa.

Cada tipo de narrativa possui característica intrínsecas, uma diferença notável entre os livros e os artigos é que diferentemente do livro, os artigos não são uma narrativa completa. Em fato eles são parte de uma história já em andamento, os leitores para quem estes artigos são voltados precisam ser minimamente iniciados no assunto para entender o que está sendo dito, leitores estes que estão também escrevendo a história. Neste sentido, os artigos não são a história, mas parte de uma história mais ampla e complexa, de modo que é impossível ler um artigo fora de seu contexto. Segue-se que compara-lo a uma narrativa literária é tanto quanto impossível.

Sendo as narrativas um meio de construir os significados e as relações entre os conceitos, e sendo os conceitos físicos intrinsecamente matemáticos, estudar a narrativa de um EM da física é estudar como as relações matemáticas estão sendo construídas.

## **Física e Matemática: uma relação histórica, epistemológica e cultural**

É comum ouvirmos físicos afirmarem que a matemática é uma linguagem universal na qual as leis da natureza foram escritas. Esta ideia remonta a Grécia antiga, “os pitagóricos, por exemplo, acreditavam que o que é permanente, unitário, verdadeiro e, portanto, inteligível sob as aparências enganosas dos fenômenos, são suas proporções harmoniosas, expressas em números” (CARDOSO, 2015, p. 48). Para os platônicos as formas geométricas perfeitas (cubo, tetraedro, octaedro e icosaedro) eram a realidade última dos quatro elementos: ar, fogo, água e terra.

---

<sup>6</sup>No mesmo sentido que Holton utiliza

<sup>7</sup>Pensei em colocar um sonho como exemplo, mas tenho dúvidas se um sonho tem objetivo ou não, muitas vezes me parece que sim.

<sup>8</sup>E deste modo, sem sombra de dúvidas o sonho se encaixaria em uma experiência mental.

<sup>9</sup>Na TRG os conceitos de ‘tempo’ e ‘espaço’ são centralizados e discutidos de uma maneira diversa da que Gancho (2004) usa, de modo que quando estivermos nos referindo ao ‘tempo’ e ‘espaço’ no sentido de Gancho, estes termos seguirão de ‘...narrativos’.

Entretanto a utilização da matemática neste período era substancialmente diferente do que é feito na física atualmente. Costuma-se atribuir a Galileu uma revolução científica (KUHN, 1978) no uso da matemática, contudo é importante observar que Galileu ainda seguia uma tradição pitagórica, em que a matemática era “concebida como um conhecimento que permitia uma leitura direta da natureza, da qual, precisamente, era a língua” (PATY, 1995, p. 234)

No entanto, não podemos desprezar a sua participação na virada matemática que ocorreu entre os séculos XVI e XVII. Até o final da idade média as formas geométricas, por serem consideradas perfeitas, eram utilizadas majoritariamente para estudar o céu, que também era considerado perfeito e imutável, principalmente em relação às estrelas.

Observações astronômicas contrariaram esta ideia, por exemplo:

“Em 1604, quando surgiu uma ‘supernova’ na constelação da serpente, Galileu Galilei a localizou e, mais do que isso, demonstrou que se tratava de mais uma estrela no céu. Esse fato, aparentemente sem grande significado para os dias de hoje, teve na época uma grande repercussão: demonstrou que, a despeito da pressuposição clássica da incorruptibilidade das esferas supralunares, ali também ocorriam mudanças” (SANTOS, 2002, p. 125).

Entendemos que a revolução no uso da matemática prosseguiu no século XVII, onde a matemática passou a ser constitutiva dos conceitos físicos (PATY, 1995). Tomemos como exemplo o conceito de massa, Gingras (2002) argumenta que até o século XVII a massa era tida como algo concreto e o no conceito em si, não havia nenhum fundamento matemático.

A partir dos trabalhos de Newton o conceito de massa passou a ser entendido como a medida de inércia de um corpo. Associava-se então massa a um conceito abstrato, a inércia, que por sua vez estava relacionada a aceleração adquirida por um corpo quando submetido a uma força resultante. O próprio conceito de força havia sido ressignificado, pois até aquele momento só se pensava em forças de contato e Newton utilizou o conceito de forças de ação a longa distância, cuja intensidade era proporcional ao produto das massas envolvidas para explicar o movimento dos corpos celestes.

Também foi introduzido o caráter vetorial das forças, no caso da gravitacional, ela possuía simetria esférica. É perceptível uma ruptura com a tradição vigente, a geometria agora não era apenas usada para descrever os conceitos, mas os conceitos eram construídos geometricamente, a matemática se tornou constitutiva dos conceitos físicos.

Reiteramos que aqui ocorreu um ponto de ruptura importante. O livro de Newton se chamava Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, mas é razoável afirmar que um novo tipo de filosofia estava sendo gestada, um novo estilo de pensamento, que hoje conhecemos como física. Entendemos que a geometrização dos conceitos é uma das principais características deste estilo de pensamento.

Continuemos com o exemplo do conceito de massa. No século XVII defendia-se que o valor de uma massa  $m$  seria o mesmo independente de sua velocidade. No início do Século XX, com o advento da Teoria da Relatividade Especial, passou-se a entender que um corpo ao adquirir uma velocidade  $v$  aumentaria a sua inércia e conseqüentemente sua massa inercial. Posteriormente, no campo da física de partículas, desenvolveu-se a ideia de partículas com massa negativa. Os conceitos de massa variável com a velocidade e massa negativa são matematicamente constituídos e não seriam concebidos se a ideia de massa não tivesse ganhado um caráter essencialmente matemático a partir do Século XVII (GINGRAS, 2002).

A matematização dos conceitos está presente no coletivo de pensamento dos físicos e é um dos seus principais marcadores, de modo que o seu uso tornou-se “critério de cientificidade, na física, na medida em que a incapacidade de expressar propriedades de sistemas em linguagem matemática inviabiliza mesmo a possibilidade de admiti-las como hipóteses para o debate científico” (PIETROCOLA, 2002, p. 89)

De fato, mais do que apenas estar presente, defendemos que a geometrização dos conceitos iniciou a cultura dos físicos e a ramificou em um campo específico de estudo, pois como argumentam Boniolo e Bundinich:

“[...] a teoria física não é algo que a matemática pode ser adicionada externamente, de modo que possamos nos perguntar sobre a razão de sua eficácia. As teorias físicas modernas e contemporâneas são signos físico-matemáticos. Estes signos são algo que não podem ser divididos em uma parte matemática e outra parte não matemática” (BONIOLO; BUDINICH, 2005, p. 86, tradução nossa)

Entendemos que estes signos não se restringem ao formalismo de equações algébricas, mas se estendem a imagens, diagramas, gráficos ou texto escrito/falado, tudo isto compõe o que chamamos de texto matemático, signos que mais do que comunicar ideias, são constitutivos delas.

## Caracterização das obras

Em 1911 Einstein escreve o artigo *Sobre a influência da gravitação na propagação da luz*. (EINSTEIN, 1911, Tradução nossa) onde consequências importantes da teoria da relatividade geral são apontadas: a reconstrução da mecânica newtoniana e relatividade especial; a validade local do princípio da equivalência e da relatividade especial; as relações do tempo e da velocidade com o campo gravitacional; e por fim as equações que permitem calcular a curvatura de um raio de luz em um campo gravitacional. Esta última conclusão é o que permite as observações em Sobral que vieram a comprovar a teoria da relatividade geral em 1919, entretanto as tentativas começaram já em 1912. Esse artigo ainda é uma continuação do artigo de 1907, caracterizado abaixo.

Em 1907, no artigo *Sobre o princípio da relatividade as conclusões tiradas dele*. (EINSTEIN, 1907, Tradução nossa) Einstein inicia o desenvolvimento da relatividade geral, há muitas conclusões obtidas neste artigo, mas destaque: a derivação do princípio da equivalência; o efeito gravitacional em relógios; o de desvio da gravitacional para o vermelho; e a curvatura gravitacional em fenômenos eletromagnéticos. Esse artigo começa com transformações de coordenadas galileanas, também chamado de relatividade clássica, e através de uma leitura de um artigo de Lorentz conclui através de uma narrativa movida a matemática, o princípio da relatividade especial. O artigo de Einstein tem uma linguagem matemática bem robusta, de onde as conclusões são tiradas, além disso as equações obtidas são apresentadas, em texto corrido e em formato de equação, as variáveis são nomeadas e as relações construídas.

*A evolução da física* foi publicado pela primeira vez em 1938. Em seu prefácio Einstein e Leopold escrevem ao leitor: “Imaginamos sua completa carência de qualquer conhecimento concreto de Física e Matemática ... interessado em ideias físicas e filosóficas” (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 12). Sendo um livro voltado para leitores externos ao estilo de pensamento, não possui em suas páginas quaisquer equações matemáticas, o que não significa porém a ausência de ideias e pensamentos matemáticos. O livro segue uma sequência de evolução

de ideias essenciais para a mais completa compreensão dos fenômenos físicos desenvolvidos até a época. Quanto ao objetivo da obra, segundo os autores, "... nosso objetivo terá sido alcançado se estas páginas lhe derem alguma idéia da eterna luta da mente inventiva humana por um conhecimento mais completo das leis que governam os fenômenos físicos" (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 12). Como o próprio nome e prefácio sugerem, sua estrutura narrativa é composta por ideias da física que foram, ao longo do tempo, se desenvolvendo entremeadas por experimentações e diferentes perspectivas, mas sempre por sujeitos curiosos e aflitos por resolver e/ou entender os mistérios da natureza e do universo. Dentro do trecho analisado, *Dentro e fora do elevador* são narrados três EM: nos três há um elevador, onde um observador interno realiza experimentos e um observador externo apenas observa. No primeiro o observador interno solta dois objetos com o elevador em queda livre. No segundo o elevador é puxado para cima por uma corda e o interno ainda solta dois objetos. No terceiro há um feixe de luz que atravessa o elevador. As explicações dos observadores são diversas.

A *teoria da relatividade especial e geral* foi publicada pela primeira vez em 1916, no mesmo ano que o artigo usualmente considerado como fundador da TRG (EINSTEIN, 1916). Como o título deixa claro, este livro se restringe a discutir a nova teoria da relatividade. Em seu prefácio o autor afirma:

"Este livro pretende dar uma ideia, a mais exata possível, da Teoria da Relatividade àqueles que, de um ponto de vista geral científico e filosófico, se interessam pela teoria mas não dominam o aparato matemático da física teórica. (EINSTEIN, 1999, p. 7)

Entendemos que por "aparato matemático da física teórica" o autor se refira ao formalismo, principalmente da geometria não euclidiana, que a esta altura dominava as discussões sobre a TRG no círculo esotérico da física e que o próprio Einstein teve dificuldade em dominar (FERREIRA, 2017). O livro apresenta algumas poucas equações e sua narrativa, como iremos discutir mais a frente, pressupõe que o leitor esteja mais familiarizado com a cultura dos físicos do que o livro anterior.

## Resultados da Análise

A análise dos trabalhos é apresentada no Quadro 1 abaixo. Nas linhas superiores os elementos da narrativa apontados por gancho e características apontadas por Fleck, que interferem no formato e conteúdo do texto, na parte inferior. Nas colunas os trabalhos analisados. Como o segundo artigo é uma complementação ao primeiro, colocamos ambos na mesma coluna, como se fosse um único escrito.

A primeira diferença que podemos observar se refere aos personagens, nos artigos originais os observadores são dois sistemas de coordenadas ( $S_1$  e  $S_2$ ), personagens matemáticos, coerentes com a cultura dos físicos e com significado nesta cultura. Nos livros, possivelmente na tentativa de evitar o "aparato matemático da física teórica", o autor utiliza uma pessoa como observador, um personagem não matemático que pode ter características animistas, como medo ou empatia. Os círculos exotéricos ao coletivo de pensamento dos físicos têm significados diferentes para o signo pessoa do que o círculo esotérico dos físicos tem para o signo sistema de coordenadas. Estas diferenças têm implicações para a construção do significado da narrativa como um todo, por exemplo, uma pessoa caindo em um elevador provavelmente estaria tão assustada que não conseguiria realizar as experiências necessárias para verificar se está em um referencial inercial. Isto diminui a verosimilhança da narrativa, tornado-a menos crível.

Mesmo entre os livros existem diferenças no que se refere aos observadores. No livro de 1916 há apenas um observador, dentro do elevador, e o narrador argumenta que não há razão para que ele desconfie de que não está em um campo gravitacional. No livro de 1938 além do observador interno também há um observador externo e as perspectivas de ambos são confrontadas. Neste livro, esta parte da narrativa se assemelha ao estilo utilizado por Galileo em seu livro *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*, onde a percepção do dois personagens é confrontada e argumentos são apresentados em favor de ambos.

**Quadro 1:** Relação forma e conteúdo

	Livro 1938	Livro 1916	Artigos
Personagens	Obs. Int. e Ext.	Obs. int.	S1 S2
	Massas	Mg e Mi	
Enredo-Exposição	EM de Galileu em um elevador em queda	Rel. especial	Rel. Clássica
Complicação	Obs. Int. e Ext. discordam	Dificuldade em generalizar o princípio da Rel.	Éter/Referencial Absoluto
Clímax	Obs. Int. está errado	Mg = Mi	
Desfecho	Expulsão do SC inercial e movimento absoluto da física	A luz é defletida gravitacionalmente	
Tempo narrativo	Experimento seguido das explicações	Experimento seguido das explicações	Lema e dedução
Lugar	Dentro e fora do Elevador		Espaço-tempo Geométrico
Plasticidade	Idealizações narradas		Idealizações matemáticas
Segurança	Certeza, narrador onisciente	Certezas teóricas e Hipóteses experimentais	Hipóteses

Fonte: Os Autores, 2022.

Outros personagens importantes nas narrativas são as massas gravitacional ( $M_g$ ) e inercial ( $M_i$ ), segundo a nossa leitura, o ponto alto das narrativas do artigo e do livro de 1916, quando a identidade das massas que já desconfiávamos desde Galileu se comprova, o mistério é finalmente resolvido, a massa inercial é a massa gravitacional e vice-versa. Como a discussão gira da igualdade destas massas, o seu caráter matemático é preservado, embora o formalismo matemático presente nos artigos seja bem maior do que há no livro de 1916 e sequer existe no livro de 1938. No livro de 1938 a igualdade das massas atuam como "...um pilar muito importante" (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 179) do qual o argumento depende inteiramente, porém o clímax deste livro reside na evolução da perspectiva que nós (comunidade científica) tínhamos para resolver o terceiro EM.

O lugar onde estão estes personagens é diferente nos livros e nos artigos. Nestes a ação ocorre no próprio espaço-tempo geométrico, coerente com personagens de natureza geométrica. Como

os observadores não são personagens geométricos, o lugar onde eles estão também não pode ser geométrico, ou pelo menos, não puramente. A abordagem é diversa, no livro de 1938 ressalta-se que “As dimensões do elevador devem ser limitadas, de modo que possa ser admitida a igualdade de aceleração de todos os corpos” (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 177), nos artigos isso se traduz para primeiras aproximações<sup>10</sup>. No livro de 1938 o carácter geométrico é discutido na seção seguinte, chamada *Geometria e experiência*. Esta diferença do lugar entre as obras se deve à plasticidade que Fleck menciona, nos livros os termos são bem mais gerais e sucintos, nos artigos eles são amplamente discutidos e defendidos.

Analisando o enredo da narrativa, temos em todos os textos uma exposição referente ao princípio da relatividade, galileano e especial, destacando que ambos são válidos apenas para sistemas inerciais. Mas ao apresentar a complicação da narrativa os textos seguem caminhos diferentes: Nos artigos há uma discussão sobre a não existência do éter e o seu impacto na existência de um referencial absoluto. Nos livros o éter não é mencionado, mas a existência ou não de um referencial absoluto continua sendo o principal problema da narrativa, como pode ser observado pelo seguinte trecho

“Basta que, em pensamento, o leitor se imagine transportado para o vagão que viaja uniformemente sobre a estrada de ferro e com que tantas vezes já nos ocupamos. Enquanto o vagão viajar uniformemente, o viajante que se encontra nada percebe do seu movimento. Por isso, ele não encontra dificuldade em imaginar que o vagão está em repouso, mas que o leito da estrada está em movimento. Esta interpretação, aliás, é perfeitamente justificada do ponto de vista físico, de acordo com o princípio da relatividade especial. Mas, se o movimento do vagão passa a não ser uniforme, por exemplo, em consequência de uma violenta freada, o viajante experimenta um forte puxão para a frente. [...] Por isso nos sentimos de imediato forçados a, contrariamente ao princípio da relatividade geral, atribuir ao movimento não uniforme uma espécie de realidade física absoluta” (EINSTEIN, 1999, p. 55)

O clímax das narrativas é semelhante, nos artigos e em Einstein (1999) ele ocorre na conclusão de que as massas inerciais e gravitacionais precisam ser iguais. Em Einstein e Infeld (1988) ele acontece quando o narrador nos leva a crer que o observador interno está enganado e que portanto é o referencial errado, mas o narrador, onisciente, apresenta o argumento “salvador”: a luz tem peso.

Já os desfechos apresentam diferenças, pois no livro de 1938 o narrador conclui que “os fantasmas do movimento absoluto e do sistema de coordenadas inercial podem ser expulsos da física, construindo-se uma nova física relativística” (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 186). Nos artigos e em no livro de 1916 o desfecho é a trajetória curva da luz em um campo gravitacional, apresentado como uma conclusão óbvia. Este desfecho, entretanto, é discutida em detalhes a partir das observações dos observadores no livro de 1938, constituindo o clímax desta narrativa, como já foi discutido.

O carácter de segurança apontado por Fleck vai além do formato da publicação e atravessa o contexto em que cada texto foi publicado. No livro de 1916 as ideias são apresentadas com mais certeza do que nos artigos, mas há incerteza sobre a corroboração empíricas das previsões para o desvio de um raio de luz que passe próximo do sol, o que só viria a ocorrer três anos após a publicação da primeira edição do livro. No livro de 1938, a narrativa ocorre com um narrador onisciente que possui certeza de todos os elementos que a constitui e a teoria já estava

<sup>10</sup> O termo primeira aproximação, no artigo de 1911 aparece 7 vezes.

bem estabelecida e corroborada empiricamente.

## Considerações finais

Da análise realizada pode-se perceber as características narrativas tanto dos artigos quanto dos livros de divulgação científica. Também argumentamos que o livro *A Teoria da Relatividade Especial e Geral* foi realizado com o objetivo primeiro de divulgar a TRG dentro do círculo esotérico dos físicos, ao passo que o livro *A evolução da Física* possui uma narrativa direcionada ao círculo exotérico.

Fundamentamos esta conclusão pela estrutura da narrativa do livro como um todo, que aborda desde os mais elementais princípios de conservação da mecânica clássica até chegar na física do início do século XX. Outro elemento importante é a ausência de equações algébricas, o que não significa ausência de matemática, pois ela é textualizada em imagens e em texto escrito, como exemplificado abaixo.

“Podemos pelo menos indicar um sistema de coordenadas no qual todas as leis física são válidas, embora o mesmo seja limitado no tempo e no espaço. Se imaginarmos outro sistema de coordenadas, outro elevador movendo-se uniformemente em relação ao que cai livremente, então ambos estes sistemas de coordenadas serão localmente inerciais. Todas as são exatamente idênticas em ambos. A transição de um para outro é dada pela transformação de Lorentz” (EINSTEIN; INFELD, 1988, p. 181)

Estas considerações, assim como o referencial teórico metodológico de análise, serão aprofundadas e melhor desenvolvidas em pesquisas futuras onde se desenvolverão estratégias didáticas para trabalhar com narrativas referentes à TRG em sala de aula.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Código de Financiamento 001.

## Referências

- BONIOLO, G.; BUDINICH, P. The Role of Mathematics in Physical Sciences and Dirac's Methodological Revolution. **The Role of Mathematics in Physical Sciences: Interdisciplinary and Philosophical Aspects**, Springer, v. 1, n. 1, p. 75–96, 2005.
- CARDOSO, Danilo. **A Complementaridade dos Pensamentos Narrativo e Matemático na Geração da Teoria da Relatividade Geral**. São Paulo: [s.n.], 2015.
- DAVIES, David. Can philosophical thought experiments be ‘screened’? In: **THOUGHT Experiments in Science, Philosophy, and the Arts**. [S.l.]: Routledge, 2012. P. 237–252.
- EGAN, David. Literature and thought experiments. **The Journal of Aesthetics and Art Criticism**, Wiley Online Library, v. 74, n. 2, p. 139–150, 2016.
- EINSTEIN, Albert. **a Teoria Da Relatividade Geral e Especial**. 1. ed. [S.l.]: Contraponto, 1999. ISBN 978-8585910273.

EINSTEIN, Albert. On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light. **Annalen der Physik**, n. 35, p. 898–908, 1911.

\_\_\_\_\_. On the Relativity Principle and the conclusions drawn from it. **Jahrbuch der Radioaktivität and Elektronik**, n. 4, p. 411–462, 1907.

\_\_\_\_\_. The Foudation of the General Theoty of Relativity. **Annalen der Physik**, n. 49, p. 111–164, 1916.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A Evolução da Física**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara S.A., 1988.

FERREIRA, Pedro. **A teoria Perfeita: Uma Biografia da Relatividade**. [S.l.]: São Paulo: Companhia das letras, 2017.

FIORESI, Claudia Almeida. **Circulação da divulgação científica em livros didáticos de química: a textualização da radioatividade enquanto fato científico**. 2020. Tese (Doutorado) – UFSC.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. 1. ed. [S.l.]: Fabrefactum, 2010. (Ciência, Tecnologia e Sociedade). ISBN 978-85-63299-06-2.

GANCHO, Cândida Vilares. **Como analisar narrativas**. [S.l.]: Editora Ática, 2004.

GINGRAS, Yves. La substance évanescence de la physique. In: INTERNATIONAL Congress of History of Science. [S.l.]: Liege: Brepols, 2002. v. 20, p. 157–164.

HALL, Stuart. **Cultura e Representação**. [S.l.]: Apicuri; PUC-Rio, 2016. ISBN 9788580061956,9788583170488.

KUHN, Thomas. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. [S.l.]: São Paulo: Perspectiva, 1978.

MIŠČEVIĆ, Nenad. Mental models and thought experiments. **International Studies in the Philosophy of Science**, v. 6, p. 215–226, 1992.

NERSESSIAN, Nancy J. In the theoretician's laboratory: Thought experimenting as mental modeling. In: PHILOSOPHY OF SCIENCE ASSOCIATION, 2. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. [S.l.: s.n.], 1992. v. 1992, p. 291–301.

\_\_\_\_\_. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. **Cognitive models of science**, v. 15, p. 3–44, 1992.

PATY, Michel. **A Matéria Roubada**. [S.l.]: São Paulo: Edups, 1995.

PIETROCOLA, Maurício. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno brasileiro de ensino de física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 19, n. 1, p. 93–114, 2002.

SANTOS, Douglas. **A Reinvenção do Espaço**. [S.l.]: São Paulo: Editora Unesp, 2002.