

# O SABER SÁBIO DA FORÇA GRAVITACIONAL: UMA PERSPECTIVA A PARTIR DOS PRINCIPIA DE NEWTON

## THE WISE KNOWLEDGE OF GRAVITATIONAL FORCE: A PERSPECTIVE FROM NEWTONS PRINCIPIA

GABRIEL LUIZ NALON MACEDO <sup>\*1</sup>, LEONARDO DEOSTI <sup>†1</sup>, LUCIANO  
CARVALHAIS GOMES <sup>‡1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá Centro de Ciências Exatas

### Resumo

*A concepção de força gravitacional de Newton sofreu mudanças ao longo dos anos, levantando questões sobre a verdadeira natureza desse Saber Sábio, pois, da forma que é ensinada, está mesclada com diversas contribuições de outros cientistas que sucederam à Newton. Assim, nesta pesquisa, se propôs a investigar como o Saber Sábio do conceito de força gravitacional newtoniana está estruturado de acordo com os Principia? Inicialmente realizou-se uma revisão da literatura sobre a força gravitacional newtoniana, abrangendo análises de teses e dissertações, com o intuito de identificar o material ou materiais em que Isaac Newton discutiu sua lei da gravitação. Na sequência, com o auxílio da metodologia de Análise de Conteúdo proposta por Bardin, examinou-se criteriosamente os textos escolhidos. Como resultado, em síntese, o Saber Sábio da força gravitacional newtoniana é estruturado da seguinte maneira: trata-se de uma força do tipo central exclusivamente atrativa que varia diretamente com as massas dos corpos que interagem entre si mutuamente e inversamente proporcional com o quadrado da distância entre seus centros. Sua influência se estende a corpos celestes e terrestres, tornando-a universal. Além disso, desempenha um papel fundamental na manutenção das órbitas planetárias e na descrição física e matemática dos movimentos desses corpos. Por fim, é uma força de ação à distância, não requerendo um meio físico para a sua atuação. Desse modo, essa pesquisa pode ser útil para educadores ao destacar as principais características que estruturam o conceito de força gravitacional originalmente proposto por Newton, possibilitando também uma discussão histórica e epistemológica desse conceito.*

**Palavras-chave:** História da Ciência; Gravitação Universal; Interação Gravitacional; Ensino de Física; Transposição Didática.

\*gabrielnalonmacedo@hotmail.com

†leodeosti@gmail.com

‡lcgomes2@uem.br

---

## Abstract

*Newton's conception of gravitational force has undergone changes over the years, raising questions about the true nature of this Wise Knowledge, as, in the way it is taught, it is intertwined with various contributions from other scientists who succeeded Newton. Thus, in this research, the aim was to investigate how the Wise Knowledge of the concept of Newtonian gravitational force is structured according to the Principia? Initially, a literature review on Newtonian gravitational force was conducted, including analyses of theses and dissertations, with the purpose of identifying the material or materials in which Isaac Newton discussed his law of gravitation. Subsequently, with the assistance of the Content Analysis methodology proposed by Bardin, the selected texts were examined meticulously. As a result, in summary, the Wise Knowledge of Newtonian gravitational force is structured as follows: it is an exclusively attractive central force that varies directly with the masses of the mutually interacting bodies and inversely proportional to the square of the distance between their centers. Its influence extends to celestial and terrestrial bodies, making it universal. Furthermore, it plays a fundamental role in maintaining planetary orbits and in the physical and mathematical description of the motion of these bodies. Finally, it is a force of action at a distance, not requiring a physical medium for its operation. Thus, this research can be useful for educators by highlighting the main characteristics that structure the concept of gravitational force originally proposed by Newton, also enabling a historical and epistemological discussion of this concept.*

**Keywords:** *History of Science; Universal Gravitation; Gravitational Interaction; Physics Teaching; Didactic Transposition.*

---

## I. INTRODUÇÃO

Na comunidade científica atual, é compreendido que a força gravitacional é a principal força que governa a interação entre massas no Universo, ou seja, não há outras evidências que identifiquem outra força que regule diretamente a interação entre massas. Perante a esse fato, torna-se evidente o motivo da força gravitacional ser uma das quatro forças fundamentais da natureza (GIACOMINI et al., 2018). Além do mais, esse status de força fundamental emerge, como destaca Moreira (1990, p. 135), do fato de existirem

[...] muitos tipos de forças na natureza como, por exemplo, forças elásticas, intermoleculares, interatômicas, interiônicas, de atrito, de coesão, de adesão, de viscosidade e outras. Há também várias maneiras de classificar forças, tais como de ação à distância, de contato, dissipativas, conservativas, atrativas, repulsivas, curto alcance, longo alcance, etc.

Assim, na origem de todos esses tipos e classificações de forças estão apenas quatro forças fundamentais observadas na natureza. Como já citado, a força gravitacional é uma

delas, enquanto que as outras três são a força eletromagnética, a força nuclear fraca e a força nuclear forte (MOREIRA, 1990).

Dentre essas forças, aquela que apresenta maior intensidade de interação é a força forte, seguida pela força eletromagnética, pela força fraca e, com menor intensidade, a força gravitacional (TALLEVI, 2022). No entanto, apesar da força gravitacional ser a mais fraca, em escalas cosmológicas a interação gravitacional é dominante em relação às outras (COSTA, 2018). Diante disso, compreender o conceito de força gravitacional torna-se fundamental para construir modelos cosmológicos, explorar o Universo e descrever a dinâmica dos mais diversos corpos astronômicos que compõem o Cosmos.

Porém, a força gravitacional não se limita apenas a entender fenômenos físicos que estão além da superfície da Terra. Ela também tem a capacidade de explicar certos fenômenos que ocorrem diretamente em nosso planeta, como, por exemplo, a queda dos corpos em direção ao centro da Terra e o movimento das marés. De acordo com Sagan (1980), o físico inglês Isaac Newton foi o primeiro ser humano a imaginar que tanto fenômenos terrestres como celestes eram causados por essa mesma força. Assim, nas palavras de Sagan (1980, p. 69), [...] este é o significado da palavra universal, como foi aplicado à gravitação newtoniana. A mesma lei de gravidade se aplica a qualquer local do Universo.

Em vista disso, os fundamentos, aspectos e características da força gravitacional são descritos pela Lei da Gravitação Universal, publicada por Newton em 1687, em sua obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, mais conhecida como os *Principia*. Ao longo de todos esses séculos, o conceito de força gravitacional newtoniana foi se aprimorando, recebendo novas contribuições de outros cientistas e obtendo cada vez mais prestígio na comunidade científica.

Como exemplo dessas novas contribuições, pode-se citar a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. A teoria einsteiniana não descarta completamente a gravitação newtoniana, mas transforma fundamentalmente a compreensão da gravidade, ou seja, redefine sua natureza. Em vez de ser entendida como uma força de ação à distância, a gravidade é interpretada como uma alteração na geometria do espaço-tempo. Essa transformação conceitual é particularmente útil quando se depara com campos gravitacionais extremamente intensos, como no caso de buracos negros (SILVA, 2019). Nessa situação, a gravitação newtoniana apresenta problemas e imprecisões, sendo necessária a substituição pela gravitação einsteiniana. Entretanto,

[...] é importante perceber que é difícil verificar a Teoria Geral da Relatividade, pois as teorias de Newton e Einstein dão praticamente os mesmos resultados na grande maioria das observações astronômicas e experimentos de laboratório. De fato, em condições normais, onde a gravidade é fraca, ou seja, onde não há uma grande concentração de massa, os resultados são os mesmos em todos os fenômenos (SILVA, p. 28).

Outra contribuição para o conceito de força gravitacional newtoniana é a utilização da ideia de campo para explicar como a força gravitacional age sobre os corpos à distância. Essa contribuição emergiu após o século XIX, quando a ideia de campo surgiu nos estudos do eletromagnetismo. Como consequência do desenvolvimento dessa concepção, começou-se

a adotar a ideia que a força gravitacional atuaria por meio do campo gravitacional, assim como a força elétrica atua por meio do campo elétrico e a força magnética por meio do campo magnético (MACEDO, 2023).

Esses exemplos mostram que a concepção de força gravitacional de Newton sofreu mudanças ao longo dos anos, levantando questões sobre a verdadeira natureza do seu conceito original e o que foi adicionado ou modificado. Essas reflexões são cruciais para o ensino, pois ajudam a entender a estrutura original desse conhecimento científico amplamente ensinado nas escolas. Isso possibilita uma abordagem mais precisa e contextualizada desse conteúdo nas aulas, alinhando-o com seu contexto histórico, social e epistemológico.

Nesse contexto, a Teoria da Transposição Didática surge como um referencial teórico para se compreender como o conhecimento está originalmente estruturado. De acordo com Chevallard (1991), elaborador dessa teoria, o saber elaborado pelos cientistas (Saber Sábio) passa por uma transformação, tornando-se o saber presente nos livros didáticos (Saber a Ensinar) e, por fim, tornando-se naquele saber que de fato é discutido nas salas de aula (Saber Ensinado).

Diante de todo esse contexto apresentado, acredita-se que o conceito de força gravitacional de Newton está, de certa forma, mesclado com diversas contribuições de outros cientistas que sucederam a Newton. Assim, essa pesquisa se propôs a investigar como o Saber Sábio do conceito de força gravitacional newtoniana está estruturado de acordo com os Principia?

Para se alcançar o problema de pesquisa em questão, o objetivo geral que guiou a análise foi realizar uma análise crítica dos Principia de Newton, com o propósito de compreender a abordagem do autor em relação ao conceito de força gravitacional e entender como esse Saber Sábio está estruturado.

Perante o exposto, acredita-se que essa pesquisa será útil como material de apoio para educadores terem acesso a quais são as principais características que estruturam o conceito de força gravitacional originalmente proposto por Newton, possibilitando também uma visão histórica e epistemológica desse conceito.

## II. APORTE TEÓRICO

Dentro do sistema escolar, a força gravitacional newtoniana é constantemente discutida com os estudantes no 1º ano do Ensino Médio e, usualmente, é proposta no último semestre do ano letivo escolar. Entretanto, devido à reduzida carga horária da disciplina de Física, geralmente com duas aulas semanais, muitas vezes a gravitação newtoniana acaba não sendo estudada (PIRES; VEIT, 2006). Bonfim e Nascimento (2020, p. 03) vão além ao afirmarem que [...] outro possível agravante está relacionado à carência desse assunto em testes de vestibulares e até mesmo no ENEM, culminando seu descarte no currículo. Complementado, Hoffmann e Gardelli (2013, p. 02) afirmam que a Gravitação Universal é um conteúdo pouco trabalhado na Educação Básica, [...] por se tratar de um conteúdo de base teórica rica e complexa, em desenvolvimento desde o século XVII, o que requer um domínio sobre o assunto por parte dos professores. Sendo que por isso, alguns docentes acabam não discutindo esse conceito em sala de aula e, inclusive, acabam o excluindo do planejamento escolar (BONFIM; NASCIMENTO, 2020).

Porém, vale ressaltar que existem algumas exceções em que há professores que abordam o conceito de força gravitacional de Newton no Ensino Médio, mas os resultados dessas abordagens, na maioria das vezes, não são positivos como pesquisas na área do Ensino de Física apontam (HOFFMANN; GARDELLI, 2013; SANTOS, 2017; SILVA, 2019; BONFIM; NASCIMENTO, 2020). Essas pesquisas mostram que o conteúdo de Gravitação demonstra difícil abordagem, dificuldades de compreensão e concepções alternativas tanto por parte de estudantes de diferentes níveis de ensino, quanto por parte de professores.

Dentre essas concepções, pode-se citar as de que: a gravidade de um planeta está relacionada com sua velocidade de rotação ao redor de si mesmo; a força gravitacional aumenta conforme a distância ao objeto aumenta; a gravidade só existe enquanto há atmosfera (ar); a força gravitacional do Sol influencia a gravidade de cada um dos planetas; a gravidade é uma força de pressão; a gravidade é afetada pela temperatura; na interação entre corpos, apenas o mais pesado exerce força gravitacional; só objetos pesados possuem gravidade; a gravidade de um planeta está relacionada ao seu campo magnético (FALSETTI; SILVA, 2018).

Além dessas concepções alternativas, a abordagem do tópico da gravitação no contexto do Ensino Médio é insuficiente, como observado por Ramos (2015) ao afirmar que muitos equívocos históricos, conceituais e contos são passados de forma inadequada aos alunos. Alguns exemplos dessas questões incluem a atribuição exclusiva da lei do inverso do quadrado da distância a Newton, sem mencionar outros cientistas notáveis que contribuíram, como Huygens, Harley, entre outros. Outro exemplo é o famoso mito da maçã que caiu na cabeça de Newton, supostamente levando-o a desenvolver a Lei da Gravitação Universal (RAMOS, 2015).

Esses erros históricos e conceituais causam um distanciamento entre o conceito de força gravitacional que se consta nos Principia e sua representação no ambiente educacional. Nesse contexto, a Teoria da Transposição Didática surge como um referencial teórico para se discutir a maneira como o conceito de força gravitacional está estruturado para Newton. Essa teoria propõe que um conceito científico se manifesta a partir de três patamares de saber: o Saber Sábio; o Saber a Ensinar; e o Saber Ensinado.

A teoria foi elaborada por Yves Chevallard, um educador francês especializado no campo do ensino da matemática. Em 1985, ele publicou o livro intitulado *La Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*<sup>1</sup>, que apresenta sua teoria e traça uma discussão e análise das mudanças que um conteúdo sofre desde sua origem na ciência até sua chegada no contexto escolar (DAMASCO NETO; COAN, 2012). Em relação a essa teoria, Brockington e Pietrocola (2005, p. 388), colocam que:

Segundo essa teoria, um conceito ao ser transferido, transposto, de um contexto ao outro, passa por profundas modificações. Ao ser ensinado, todo conceito mantém semelhanças com a ideia originalmente presente em seu contexto da pesquisa, porém adquire outros significados próprios do ambiente escolar qual será alojado. Esse processo de transposição transforma o saber, conferindo-lhe um novo status epistemológico.

<sup>1</sup>Tradução livre A Transposição didática: do saber sábio ao saber ensinado.

Em seu livro, Chevallard (1991) afirma que de maneira mais ampla (*lato sensu*), a Teoria da Transposição Didática tem como finalidade analisar o processo pelo qual um conhecimento científico particular passa por diversas transformações, abrangendo seus diferentes níveis e as limitações que o caracterizam. Segundo o autor, [...] o estudo científico do processo de transposição didática supõe levar em conta a transposição didática *lato sensu*, representada pelo esquema objeto de saber objeto a ensinar objeto de ensino [...] <sup>2</sup> (CHEVALLARD, 1991, p. 46, tradução nossa).

Cada seta representa as transformações pelas quais o conceito científico passa, e, nesse sentido, a abordagem mais ampla da transposição didática *lato sensu* abrange a análise dessas transformações em sua totalidade. Quando se discute a transição do Saber Sábido para o Saber Ensinado, sem adentrar em detalhes sobre os processos de transformação desse conhecimento, Chevallard opta por se referir a isso como transposição didática *stricto sensu*. Nas suas próprias expressões, [...] a transformação de um conteúdo de saber formal em uma versão didática desse objeto de saber pode ser denominado mais apropriadamente de transposição didática *stricto sensu* [...] <sup>3</sup> (CHEVALLARD, 1991, p. 46, tradução nossa).

No contexto das transformações que um conhecimento específico atravessa, Chevallard (1991) identifica dois níveis distintos. Um deles diz respeito a uma transposição mais evidente, tangível e visível, que se manifesta quando o Saber Sábido é adaptado para se tornar o Saber a Ensinar. De acordo com Chevallard (1991, p. 36, tradução nossa):

É isso, então, que vai proceder à seleção dos elementos do saber sábio que, designados como saber a ensinar, serão então submetidos ao trabalho de transposição; é também este que vai assumir a parte visível deste trabalho, o que podemos chamar de trabalho externo de transposição didática, em oposição ao trabalho interno, que é realizado dentro do próprio sistema de ensino, bem após a introdução oficial dos novos elementos no saber ensinado.<sup>4</sup>

Enquanto isso, o outro nível envolve uma transposição mais sutil, abstrata e implícita, que ocorre quando o Saber a Ensinar é moldado para se tornar o Saber Ensinado. No excerto a seguir, o autor diz que: Quando os programas são elaborados, conformados e adquirem força de lei, inicia-se outro trabalho: o da transposição didática interna <sup>5</sup> (CHEVALLARD, 1991, p. 44, tradução nossa). Perante o exposto, pode-se categorizar esses dois níveis em: Transposição Didática Externa e Transposição Didática Interna. A Figura 1 a seguir

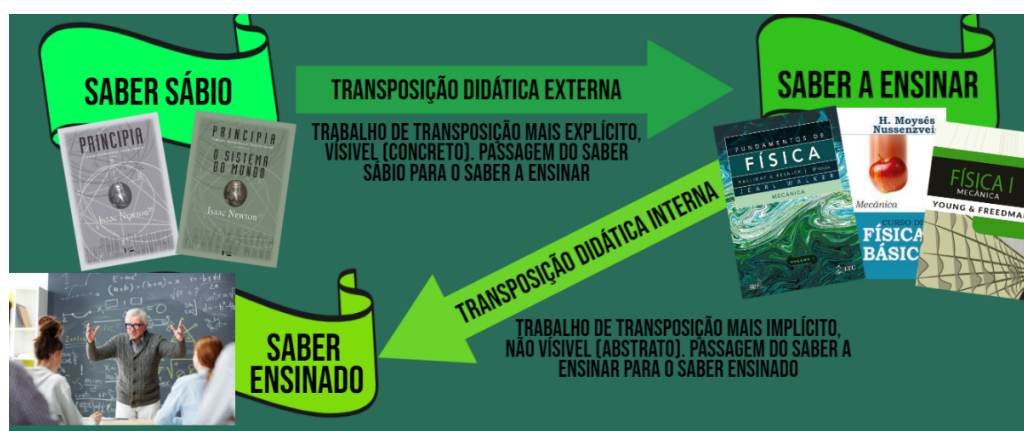
<sup>2</sup>[ ] el estudio científico del proceso de transposición didáctica supone tener en cuenta la transposición didáctica *sensu lato*, representada por el esquema objeto de saber objeto a enseñar objeto de enseñanza [ ] (CHEVALLARD, 1991, p. 46).

<sup>3</sup>[ ] la transformación de un contenido de saber preciso en una versión didáctica de ese objeto de saber puede denominarse más apropiadamente transposición didáctica *stricto sensu* [ ] (CHEVALLARD, 1991, p. 46).

<sup>4</sup>Es ésta, pues, la que va a proceder a la selección de los elementos del saber sábio que, designados como saber a enseñar, serán entonces sometidos al trabajo de transposición; también es ésta la que va a asumir la parte visible de ese trabajo, lo que podemos llamar el trabajo externo de la transposición didáctica, por oposición al trabajo interno, que se realiza en el interior mismo del sistema de enseñanza, bastante después de la introducción oficial de los nuevos elementos en el saber enseñado (CHEVALLARD, 1991, p. 36).

<sup>5</sup>Cuando los programas son preparados, conformados y adquieren fuerza de ley, comienza otro trabajo: el de la transposición didáctica interna (CHEVALLARD, 1991, p. 44).

permite esquematizar, de forma simples, esses processos que ocorrem nesses dois níveis da transposição didática.



**Figura 1:** Esquema representando os processos que ocorrem com o saber, de acordo com a Teoria da Transposição Didática. Fonte: os autores, 2023.

Conforme delineado por Chevallard (1991), o Saber Sábio, ponto de partida da Transposição Didática Externa, é o conhecimento científico elaborado pelos estudiosos e cientistas. Desse modo, pode-se dizer que esse saber está relacionado com o meio acadêmico, pois é geralmente desenvolvido em institutos de pesquisas e universidades. No entanto, vale destacar que nem toda produção acadêmica pode representar um saber científico.

Dessa forma, o conceito de força gravitacional de Newton pode ser considerado um Saber Sábio, uma vez que as ideias newtonianas a respeito desse conhecimento causaram um grande impacto no desenvolvimento da ciência. Com a lei gravitacional, Newton unificou o céu e a Terra, mostrando que as mesmas leis da física se aplicam a todos os objetos no Universo. Gomes (2008, p. 58), ao comentar essa importância, diz que [...] Newton, foi quem deu realidade ao sonho de Galileu, Kepler e Descartes de completar a revolução científica iniciada por Copérnico. Corroborando com essa visão importante da elaboração da Lei da Gravitação Universal, Sagan (1981, p. 70), afirma que [...] nossa civilização global moderna, nossa visão do mundo e nossa atual exploração do universo são profundamente reconhecidas aos seus discernimentos. Por conta disso, analisamos como o Saber Sábio do conceito de força gravitacional newtoniana está estruturado de acordo com os Principia.

### III. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

#### III.1. A ABORDAGEM E O TIPO DE PESQUISA

A partir do problema de pesquisa e as características que essa pesquisa assumiu, a investigação pode ser considerada como sendo uma pesquisa de natureza qualitativa, de cunho indutivo e interpretativo.

A natureza qualitativa surgiu devido a essa abordagem de pesquisa não dar ênfase à quantidade de amostras ou dados numéricos, mas de se concentrar na exploração mais profunda do entendimento acerca de um grupo social, de uma entidade organizacional,

de uma história, de uma instituição, entre outras possibilidades (GOLDENBERG, 2004). Por conta disso, a pesquisa qualitativa se distingue do método científico do movimento positivista, uma vez que não se restringe ao uso exclusivo deste último para conduzir a investigação. Em vez disso, caracteriza-se por empregar diversas metodologias próprias, que são adaptadas ou alinhadas de forma mais coerente com os objetivos específicos de cada estudo.

Complementando Goldenberg, Minayo (2001, p. 22-23) afirma que a pesquisa qualitativa lida [...] com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que correspondem a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis. Dessa forma, torna-se evidente que a pesquisa qualitativa é um método valioso para investigar questões complexas, como é o caso da estruturação do Saber Sábido dos conceitos científicos.

Em relação ao cunho indutivo, Reneker (1993) argumenta que o viés indutivo da pesquisa reside na intenção do pesquisador em descrever conceitos, ideias e entendimentos com base em padrões identificados na análise, em vez de buscar dados para comprovar teorias, hipóteses e modelos previamente estabelecidos. Em outras palavras, parte-se de fatos específicos para inferir sobre o contexto mais amplo. Marconi e Lakatos (2003, p. 86) aferem isso ao afirmarem que o método indutivo:

[...] é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientes constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam.

Assim, na nossa investigação, partiu-se de uma leitura crítica dos Principia, com o objetivo de encontrar padrões na concepção newtoniana de força gravitacional, para que assim fosse possível aferir uma ideia geral desse conceito.

Por último, o cunho interpretativo se justifica pelo fato de que, como apontam Cassiani, Caliri e Pelá (1996, p. 76), [...] a pesquisa interpretativa tem sido utilizada nominando os estudos da linha qualitativa e as pesquisas indutivas. O aspecto interpretativo permite uma análise aprofundada e detalhada do fenômeno estudado. Em vez de buscar respostas definitivas, o aspecto interpretativo se concentra em desvendar as nuances e complexidades do tema em questão. Ainda na visão dessas autoras, [...] o termo pesquisa interpretativa deriva do reconhecimento básico dos processos interpretativos e cognitivos inerentes à vida social e enfatizados nessas abordagens (CASSIANI; CALIRI; PELÁ, 1996, p. 76). Dessa forma, a interpretação desempenha um papel fundamental nesse contexto, uma vez que permite o pesquisador compreender não apenas os fatos e conceitos apresentados por Newton, mas também a lógica subjacente e a estrutura conceitual por trás de suas ideias.

### III.2. A ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN

A Análise de Conteúdo é uma ferramenta utilizada para analisar os dados de uma pesquisa a partir de uma interpretação qualitativa ou quantitativa do material, ocasionando



assim uma descrição objetiva. Segundo Gomes (2008, p. 19), a Análise de Conteúdo

[...] é utilizada para a análise de quaisquer materiais oriundos da comunicação verbal ou não-verbal, como cartas, cartazes, jornais, revistas, informes, livros, relatos autobiográficos, gravações, entrevistas, diários pessoais, filmes, fotografias, vídeos e outros.

Dessa forma, para Bardin (2015, p. 44), essa técnica de análise é:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens.

Gaspi, Maron e Magalhães Júnior (2021) explicam que a Análise de Conteúdo tem como objetivo realizar deduções lógicas e justificadas sobre a origem da mensagem, levando em consideração o emissor e o contexto em que foi criada, bem como os efeitos que ela pode causar. Portanto, esse método não apenas formula suposições a respeito do conteúdo examinado, mas também embasa essas suposições em referenciais teóricos, considerando o cenário histórico e social em que foi produzido.

Ao qualificar o pesquisador que recorre a essa técnica, Bardin (2015) o considera um espião, pois seu objetivo é analisar não apenas o que está explícito no texto, mas também o que está implícito. Isso acontece porque a Análise de Conteúdo reconhece que um texto pode ter múltiplos significados. Nesse sentido, o esforço do pesquisador é ampliado, pois ele deve compreender o verdadeiro significado da comunicação estudada como se fosse o próprio autor e, ao mesmo tempo, adotar uma perspectiva inovadora para identificar outros significados presentes no conteúdo em análise (GASPI; MARON; MAGALHÃES JÚNIOR, 2021). Dessa forma, de acordo com Bardin (2015), a técnica da Análise de Conteúdo pode ser dividida em três fases distintas.

A etapa inicial, denominada pré-análise, engloba a sistematização e estruturação do material que será analisado. Durante essa fase, são realizadas a leitura flutuante, a seleção dos documentos relevantes, a formulação das suposições e metas da análise, além da criação dos critérios que embasarão a interpretação final (GOMES, 2008; BARDIN, 2015).

Posteriormente à etapa inicial, Bardin (2015) classifica a segunda etapa como a fase de exploração do material. Neste estágio da análise, são executados dois procedimentos: a codificação e a categorização. Conforme descrito por Bardin (2015), a codificação envolve a conversão dos dados em estado bruto para representações em unidades menores, isto é, recortes do material. Seguindo as palavras da autora, essa codificação dará origem às Unidades de Registro e Unidades de Contexto.

Assim, a Unidade de Registro [...] é a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial. A unidade de registro pode ser de natureza e de dimensões muito

variáveis (BARDIN, 2015, p. 130). Enquanto que a Unidade de Contexto serve como [...] unidade de compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem, cujas dimensões são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro (BARDIN, 2015, p. 133). Isso implica que ligado à Unidade de Registro tem-se a Unidade de Contexto.

Após a codificação, Bardin (2015) sinaliza que é preciso categorizar essas unidades constituídas. Dessa forma, a categorização consiste em agrupar as Unidades de Registro que apresentam semelhanças, conforme mencionando pela própria Bardin (2015, p. 145):

A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, em seguida, por reagrupamentos segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidades e registros, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão das características comuns destes elementos.

O ato de categorização consiste em atribuir um único rótulo a um conjunto de Unidades de Registros agrupadas, ou seja, ocorre uma generalização dessas unidades em um único elemento. Esse processo de categorização constitui a transformação de dados brutos em dados organizados.

Por último, a etapa que finaliza a Análise de Conteúdo, compreende o processo de inferência e interpretação dos dados categorizados. A ação de inferir consiste em formular uma proposição fundamentada em outras já reconhecidas como verdadeiras. De acordo com Gaspi, Maron e Magalhães Júnior (2021, p. 296), é afirmado que:

[...] essa produção de inferências sobre os dados não significa apenas produzir hipóteses e suposições acerca de determinado universo estudado, mas, em poder associar a elas, embasamentos teóricos das concepções de mundo com as situações visualizadas pelos seus interlocutores (emissor ou receptor) situados em seu contexto histórico-social.

Nesse contexto, é essencial que o pesquisador leve em consideração, durante a análise dos dados, tanto os elementos objetivos claramente evidentes como aqueles que se encontram no campo simbólico, em que é necessária a interpretação do investigador para compreender totalmente o conteúdo presente nas mensagens contidas nesses dados (GASPI; MARON; MAGALHÃES JÚNIOR, 2021).

### III.3. ANÁLISE DOS PRINCÍPIA DE NEWTON: PRÉ-ANÁLISE

Inicialmente realizou-se uma revisão da literatura sobre a força gravitacional newtoniana, abrangendo análises de teses e dissertações disponíveis na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações BDTD, no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e no Google Acadêmico. Utilizaram-se palavras-chave como força gravitacional, gravitacional, gravitação,

lei da gravitação universal, gravitação universal e gravitação newtoniana para identificar trabalhos relacionados ao tema. O objetivo era identificar, por meio dessas pesquisas que trabalharam com a força gravitacional newtoniana, o material ou materiais em que Isaac Newton discutiu sua lei da gravitação. Após uma análise inicial, observou-se que o Livro III dos Principia, intitulado Sistema do Mundo, é a obra em que Newton apresenta e discute sua teoria da força gravitacional.

Assim estipulado, iniciou-se a leitura do Livro III e logo percebeu-se que Newton frequentemente faz referências a conceitos e conclusões que, em sua maioria, estão contidos no Livro I dos Principia. Por esse motivo, julgou-se crucial ler os três livros dos Principia para não perdermos nenhum aspecto relevante relacionado à força gravitacional.

Nesse contexto, realizou-se uma leitura flutuante do Livro I, Livro II e Livro III dos Principia e, seguindo os princípios de exaustividade, representatividade, homogeneidade e pertinência, optou-se por analisar os Livros I e III, uma vez que eles fornecem o conteúdo necessário para compreender-se o conceito de força gravitacional de Newton. O Livro II foi excluído da análise, pois não aborda de forma significativa o conceito de força gravitacional, esse livro concentra-se em questões relacionadas à mecânica dos fluidos e ao movimento dos corpos em meios resistentes diferentes. Com a seleção desses documentos, definiu-se o corpus de pesquisa e, assim, prosseguiu-se com as fases da Análise de Conteúdo, extrapolando a leitura flutuante em busca de elementos implícitos ou subjacentes nos textos.

#### III.4. ANÁLISE DOS PRINCIPIA DE NEWTON: EXPLORAÇÃO DO MATERIAL

Conforme já delineado, nesta etapa da Análise de Conteúdo, ocorrem os processos de codificação e categorização do corpus de pesquisa. Dessa forma, conduziu-se a codificação por meio da criação das Unidades de Registros e Unidades de Contexto.

As Unidades de Registro e de Contexto foram desenvolvidas com base em pressupostos organizados a posteriori, ou seja, de maneira indutiva. Assim estipulado, enquanto a leitura do Livro I e Livro III acontecia, foram emergindo os seguintes temas: força gravitacional; força da gravidade; força centrípeta; gravidade e gravitação. E, a partir desses temas, as Unidades de Registro e de Contexto foram construídas, totalizando setenta e seis unidades.

Concluída a fase da codificação, avançou-se para a etapa da categorização. Conforme já abordado, essa etapa envolve a reunião das Unidades de Registro previamente elaboradas que compartilham características semelhantes, viabilizando a criação de uma definição única que englobe esses elementos de forma geral. Dessa forma, elaborou-se oito categorias para agrupar as setenta e seis Unidades de Registro.

Diante das categorias criadas, cada uma das oito categorias ficou com as seguintes quantidades de Unidade de Registro (UR): Relação com a distância ao quadrado (vinte e três UR); Relação com a massa (cinco UR); Direção a um corpo (vinte e duas UR); Manter em órbita (seis UR); Característica de força central (três UR); Ação e reação (dez UR); Unificação (seis UR) e Extensão infinita (uma UR).

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As justificativas pelas quais categorizou-se as Unidades de Registro de tal forma serão apresentadas a seguir, junto com as inferências e interpretações, de forma a responder o problema de pesquisa. Portanto, a categoria intitulada Característica de força central engloba trechos que se relacionam com a força centrípeta, isto é, uma força que age em direção ao centro. Dentro dessa categoria, identificou-se três Unidades de Registro, correspondendo a 3,95% do total. Desse modo, pode-se inferir que, de acordo com as Unidades de Registro a seguir, a força gravitacional de Newton é classificada como um tipo de força central:

A força que mantém os corpos celestes em suas órbitas tem sido chamada até aqui de força centrípeta, mas tendo ficado evidente que ela não pode ser outra que não uma força gravitacional, vamos chama-la daqui por diante de gravidade. (NEWTON, 2020b, p. 200).

[...] qualquer força centrípeta uniforme conhecida (tal como normalmente se supõe que seja a gravidade) [...] (NEWTON, 2020a, p. 179).

[...] essa gravidade é a força centrípeta daquele corpo. (NEWTON, 2020a, p. 90).

A categoria intitulada Relação com a distância ao quadrado abrange passagens que destacam a importância da relação entre a força gravitacional com o inverso do quadrado da distância, entre os corpos envolvidos, na concepção da força gravitacional para Newton. Dentro dessa categoria, agrupou-se as Unidades de Registro que tratam dessa reflexão de forma explícita ou implícita, totalizando vinte e três unidades, o que equivale a 30,26% da amostragem, conforme exemplificado a seguir:

[...] a força da gravidade em direção a cada um deles, considerado separadamente, é inversamente como o quadrado das distâncias dos lugares ao centro do planeta (NEWTON, 2020b, p. 204).

[...] que a força da gravidade é inversamente como o quadrado da distância ao centro da Terra [...] (NEWTON, 2020b, p. 310).

[...] a ação da força centrípeta sobre os planetas descreve inversamente como o quadrado da distância [...] (NEWTON, 2020b, p. 352).

Na categoria Relação com a massa, reuniu-se cinco Unidades de Registro, o que corresponde a 6,58% do total. De acordo com as ideias de Newton, a intensidade da força

gravitacional pode ser entendida como uma relação direta com as massas dos corpos envolvidos na interação, como evidenciado nos trechos a seguir:

[...] suas quantidades de matéria são como as forças das gravidades [...] (NEWTON, 2020b, p. 205).

[...] gravidade pertencente a todos os corpos, proporcional às várias quantidades de matéria que eles contêm (NEWTON, 2020b, p. 203).

[...] a ação da força centrípeta sobre os corpos atraídos é, a distâncias iguais, proporcional às quantidades de matéria [...] (NEWTON, 2020b, p. 354).

É importante lembrar que no Livro I dos Principia, Newton considera quantidade de matéria e massa como equivalentes em sua teoria. Portanto, a opção pelo termo massa não altera o significado das ideias de Newton sobre a força gravitacional.

Continuando com as justificativas e inferências, a categoria Direção a um corpo engloba as Unidades de Registro que de alguma forma abordam a direção na qual a força gravitacional atua. Incluiu-se, assim, vinte e duas Unidades de Registro nessa categoria, representando 28,95% do total. Dessa forma, em termos contemporâneos, pode-se afirmar que a força gravitacional newtoniana é uma grandeza vetorial, como ilustrado nos exemplos a seguir:

É por sua gravidade que ele é desviado continuamente de seu curso retilíneo e forçado a desviar-se em direção à Terra [...] (NEWTON, 2020a, p. 41).

[...] a força da gravidade em direção a qualquer planeta [...] (NEWTON, 2020b, p. 204).

Depois que obtive que a força da gravidade em direção a todo planeta [...] (NEWTON, 2020b, p. 205).

A categoria subsequente recebe o título de Manter em órbita devido à presença de Unidades de Registro que evidenciam que a força gravitacional desempenha o papel de manter um corpo celeste em uma órbita específica. No total, identificou-se seis Unidades de Registro com essa característica, correspondendo a 7,89% do conjunto total de Unidades de Registro, conforme demonstrado nos trechos a seguir:

[...] por meio de forças centrípetas, os planetas possam ser retidos em certas órbitas [...] (NEWTON, 2020b, p. 337).

[...] mantida em sua órbita pela força da gravidade (NEWTON, 2020b, p. 197).

[...] a Lua é retida em sua órbita pela força da gravidade [...] (NEWTON, 2020a, p. 37).

Dentro da categoria Ação e reação, abarcou-se as considerações que, de maneira explícita ou implícita, indicam que a interação entre um corpo X e um corpo Y é mútua e atrativa. Consequentemente, reuniu-se dez Unidades de Registro, correspondendo a 13,16% do total. A seguir, são apresentados alguns exemplos:

[...] como todas as partes de qualquer planeta A gravitam em direção a qualquer outro planeta B, e a gravidade de toda parte está para a gravidade do todo assim como a matéria da parte está para a matéria do todo, e (pela Lei III) para cada ação corresponde uma reação igual, o planeta B, por sua parte, irá gravitar em direção a todas as partes do planeta A [...] (NEWTON, 2020b, p. 204).

[...] como a terra, o sol e todos os planetas gravitam em direção um ao outro, estando, portanto, de acordo com seus poderes de gravidade [...] (NEWTON, 2020b, p. 209).

[...] todos os corpos de qualquer tipo são dotados com um princípio de gravitação mútua. (NEWTON, 2020b, p. 187).

A categoria intitulada Unificação abrange Unidades de Registro que indicam que a força gravitacional não se limita aos corpos celestes, mas também atua entre objetos terrestres. Isso contradiz a visão de Aristóteles, sugerindo que a física terrestre e a física celeste não são distintas. Assim, por exemplo, por meio da força gravitacional, torna-se possível calcular o movimento dos astros. Nessa categoria, agrupou-se seis Unidades de Registro, correspondendo a 7,89% do total de unidades. A seguir, apresentam-se os trechos que ilustram essas unidades:

[...] igual à força da gravidade que observamos nos corpos pesados aqui (NEWTON, 2020b, p. 198).

[...] a força centrípeta da Lua, girando em sua órbita, está para a força da gravidade na superfície da Terra [...] (NEWTON, 2020a, p. 23).

[...] pela teoria da gravidade os movimentos da lua podem ser calculados [...] (NEWTON, 2020b, p. 259).

Por último, na categoria Extensão infinita, encontrou-se uma única Unidade de Registro, representando 1,32%, que declara que a força gravitacional se estende por todo o espaço,

como pode ser observado na fala de Newton a seguir: [...] a gravidade está em todo o lugar [...] (NEWTON, 2020b, p. 375).

Bardin (2015) em seu livro, coloca que a ausência de Unidades de Registro e categorias também trazem um significado, nas palavras da autora: [...] a ausência de elementos (relativamente a uma certa provisão) pode, nalguns casos, veicular um sentido (Bardin, 2015, p. 134). Assim sendo, no caso dessa análise, não se encontrou qualquer passagem nos Principia que discuta o meio físico pelo qual a força gravitacional opera, isto é, qual é o agente intermediário na interação entre os corpos. Portanto, pode-se inferir que essa força atua à distância, sem a necessidade de qualquer tipo de mediação.

Apesar de algumas dessas características se manterem no Saber a Ensinar e no Saber Ensinado, como por exemplo a relação com as massas e a distância ao quadrado, outras são omitidas e não problematizadas no ambiente escolar. Em relação aos materiais didáticos, Macedo (2023) sinaliza que, em sua maioria, os livros didáticos da Educação Básica, não discutem e evidenciam que a força gravitacional para Newton é um tipo de força centrípeta e que age à distância, sem a necessidade de um tipo de mediação. Em relação a característica da unificação, quando os livros abordam esse aspecto, trazem a estória de que após uma maçã cair na cabeça de Newton, ele formulou a lei da gravitação que unifica a física terrestre com a celeste.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos Principia de Newton em relação ao conceito de força gravitacional permitiu identificar as características desse Saber Sábio que fundamentou a física clássica e continua a influenciar nossa compreensão do mundo físico até os dias de hoje. A relevância desse conceito e sua capacidade explicativa para descrever fenômenos abrangem aspectos desde a Mecânica Clássica até a Cosmologia/Astrofísica, como por exemplo, a queda dos corpos, a formação estelar e planetária, a determinação das massas e posições dos corpos celestes e a descoberta de novos astros, como o caso de Netuno em 1846.

Assim, ao longo deste estudo, pode-se desvendar como Newton estruturou esse conceito fundamental de forma sistemática e coerente. Perante os resultados expostos, foi possível responder o problema de pesquisa proposto: Como o Saber Sábio do conceito de força gravitacional newtoniana está estruturado de acordo com os Principia?

Uma das motivações por trás da busca de Newton por uma força universal, provavelmente se deve ao contexto histórico da época, uma vez que os fundamentos da teoria aristotélica-ptolomaica estavam sendo abalados a partir dos estudos de Copérnico, Kepler, Galileu, Descartes, dentre tantos outros. Assim, buscando explicar a queda da Lua com a queda dos corpos aqui na Terra por meio dos estudos com pêndulos oscilantes, Newton interpretou que esses fenômenos são causados por uma força do tipo central que é exclusivamente atrativa, em que a influência dessa força se estende a corpos celestes e terrestres, o que a torna universal. Além disso, ela desempenha um papel crucial na manutenção das órbitas dos corpos celestes e na capacidade de descrever fisicamente e matematicamente os movimentos desses corpos. Outra visão importante é que essa força age à distância, sem a necessidade de qualquer meio físico para intermediar sua ação na visão de Newton.

Indo mais além, a estruturada desse Saber Sábio depende também de duas características

fundamentais. A massa é uma delas, uma vez que a massa é o que confere existência à força gravitacional, ou seja, a massa é a fonte da força gravitacional na visão newtoniana. A atração mútua entre corpos dependerá da massa dos corpos interagentes. Enquanto que a outra característica, é a distância ao quadrado, ao passo que a distância permite refletir a ideia de que a gravidade é uma força que se estende por todo o espaço, ou seja, apresenta uma extensão infinita.

## REFERÊNCIAS

BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2015.

BONFIM, D. D. S.; NASCIMENTO, W. J. O ensino de gravitação universal na educação básica: uma reflexão a partir de pesquisas brasileiras. *Research, Society and Development*, v. P, n. 11, e4789119969, 2020.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CASSIANI, S. H. B.; CALIRI, M. H. L.; PELÁ, N. T. R. A teoria fundamentada nos dados como abordagem da pesquisa interpretativa. *Revista Latino-americana de Enfermagem*, v. 4, n. 3, p. 75-88, dez. 1996.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica*. Tradução: Claudia Gilman. 1. ed. Buenos Aires: Ediciones, 1991. Título original: *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*.

COSTA, F. E. M. Compreendendo o Universo numa Perspectiva Newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 2, e2308, 2018.

DAMASCO NETO, J. R.; COAN, L. G. W. *Fundamentos da didática das ciências e da matemática*. 2. ed. Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2012.

FALSETTI, P. H. E.; SILVA, A. C. Atividades para abordar a força gravitacional newtoniana no ensino superior de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, v. 30, n. 1, p. 75-82, jun. 2018.

GASPI, S.; MARON, L. H. P.; MAGALHÃES JUNIOR, C. A. O. Análise de conteúdo numa perspectiva de Bardin. Separata de: MAGALHÃES JUNIOR, C. A. de O.; BATISTA, M. C. (Orgs.) *Metodologia da pesquisa em Educação e Ensino de Ciências*. Maringá: Massoni, 2021, p. 288-299.

GIACOMINI, A. et al. As aplicações no cotidiano das Leis de Newton e da Gravitação Universal. *Revista Científica Schola*, v. 2, n. 2, p. 8 11, out. 2018.



GOLDENBERG, M. A arte de pesquisar. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GOMES, L. C. Concepções alternativas e divulgação: análise da relação entre força e movimento em uma revista de popularização científica. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência e a Matemática) Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Maringá, 2008.

HOFFMANN, D. M.; GARDELLI, D. Gravitação Universal: Estratégias para seu estudo. In: Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE, 2013.

MACEDO, G. L. N. Análise do conceito de força gravitacional nos Principia de Newton e a sua Transposição Didática nos Livros Didáticos de Física do Ensino Médio do Estado do Paraná. 2023. 274 f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência e a Matemática) Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Maringá, 2023.

MINAYO, M. C. S. Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual para interações fundamentais. REVISTA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, v. 8, n. 2, P. 133-139, 1990.

NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural Livro I. 2. ed. 5. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2020a.

NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural Livros II e III. 1. ed. 3. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2020b.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

RAMOS, P. L. P. Proposta didática de Ensino da Gravitação Universal Newtoniana com enfoque na História e Filosofia da Ciência a partir de uma perspectiva ausubeliana. 2015. 71 f. Monografia (Licenciatura em Física) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Santa Cruz, 2015.

RENEKER, M. H. A qualitative study of information seeking among members of na academic community: methodological issues and problems. Library Quarterly, v. 63, n. 4, p