



UEPB

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS – CCEA

DEPARTAMENTO FÍSICA

CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

ALISSON BRUNO DE BRITO SILVA

**A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE TEMPO NA VISÃO
CLÁSSICA E MODERNA DA FÍSICA**

PATOS – PB

2022

ALISSON BRUNO DE BRITO SILVA

**A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE TEMPO NA VISÃO
CLÁSSICA E MODERNA DA FÍSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Física.

Área de concentração: Física geral.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra

PATOS – PB

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Alisson Bruno de Brito.
A evolução histórica dos conceitos de tempo na visão clássica e moderna da Física [manuscrito] / Alisson Bruno de Brito Silva. - 2022.
26 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2022.
"Orientação : Prof. Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra, Coordenação do Curso de Ciências Exatas - CCEA."

1. Mecânica Newtoniana. 2. Espaço e tempo. 3. Relatividade. I. Título

21. ed. CDD 530

ALISSON BRUNO DE BRITO SILVA

A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE TEMPO NA VISÃO
CLÁSSICA E MODERNA DA FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento do Curso
de Licenciatura Plena em Física da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciatura em Física.

Área de concentração: Física geral.

Aprovada em: 14 /12/2022.

BANCA EXAMINADORA

THIAGO BRITO GONÇALVES GUERRA

Prof. Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Rejane Maria da Silva Farias

Prof. Me. Rejane Maria da Silva Farias
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Anderson Alves de Lima

Prof. Dr. Anderson Alves de Lima
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

A minha família, em especial a
minha mãe, meu pai e a minha tia por todo
apoio e carinho que tiveram comigo,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me iluminado e pela coragem para enfrentar todos os obstáculos durante esse percurso acadêmico.

A minha mãe Ângela Maria e a meu pai Davi Elias pela educação e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, sempre me incentivando a continuar e atingir meus objetivos.

Quero aqui fazer um agradecimento em especial a minha tia Ana Maria, que sempre foi uma pessoa que mim incentivou a continuar estudando.

Ao meu orientador professor Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra pela compreensão, ajuda durante a elaboração deste trabalho, pela atenção enquanto professor em minha formação e por fazer parte desse momento marcante em minha vida.

A todos os professores do curso que contribuíram bastante com seus conhecimentos e ensinamentos no decorrer dessa jornada.

A todos meus colegas e amigos de curso, pelo companheirismo e os belos momentos que vivenciamos juntos na vida acadêmica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Concepções do tempo na antiguidade.....	11
2.2	Concepções do tempo pós – renascimento e na física moderna.....	16
3	METODOLOGIA	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
	REFERÊNCIAS	27

A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE TEMPO NA VISÃO CLÁSSICA E MODERNA DA FÍSICA

THE HISTORICAL EVOLUTION OF THE CONCEPTS OF TIME IN THE CLASSIC AND MODERN VIEW OF PHYSICS

RESUMO

O tempo é um dos conceitos que historicamente sempre despertou a curiosidade da humanidade. Sendo assim, pretende – se desenvolver uma revisão de literatura sobre a problemática do tempo na visão clássica e moderna da Física, abordando para isso algumas concepções deste marcador de acordo com alguns autores relevantes. Destacando – se entre eles a visão da mecânica newtoniana e a visão da relatividade de Einstein, apresentando a evolução destes pontos de vistas clássica e moderno com relação ao tempo. Buscando atingir esse objetivo será proposto uma revisão bibliográfica com abordagem qualitativa que evidencie essas percepções em publicações recentes. Compreende – se que na visão de Newton o tempo e o espaço seriam absolutos permanecendo sempre imóvel e semelhante, e dependendo apenas de um observador inercial para validar sua lei. Enquanto que na visão da relatividade de Einstein surgem profundas mudanças que vem a modificar o pensamento sobre a concepção de Newton, através de uma nova teoria que envolve o tempo e espaço.

Palavras – chave: Mecânica Newtoniana. Espaço e tempo. Relatividade.

ABSTRACT

Time is one of the concepts that historically has always aroused humanity's curiosity. Therefore, it's intended to develop a literature review on the issue of time in the classical and modern view of Physics, approaching some conceptions of this marker according to some relevant authors. Highlight among them the view of Newtonian mechanics and Einstein's view of relativity, presenting the evolution of these classical and modern points of view in relation to time. Seeking to achieve this objective, a bibliographical review with a qualitative approach will be proposed to show these perceptions in recent publications. It's understood that in Newton's view, time and space would be absolute, always remaining immobile and similar, and depending only on an inertial observer to validate his law. While in Einstein's vision of relativity, profound changes arise that come to modify the thought on Newton's conception, through a new theory that involves time and space.

Keywords: Newtonian Mechanics. Space and time. Relativity.

1 INTRODUÇÃO

Um conceito primitivo, mas com muitas aplicações, o tempo é aquele cujo significado é desenvolvido desde a infância do ser humano. Na Física, o tempo é uma das grandezas fundamentais do sistema internacional de unidades (SI) das quais derivam muitas outras. É um conceito que ocupa a mente de pensadores (filósofos, cientistas, ...) desde as eras mais remotas. Sua natureza tem sido interpretada ao longo da história como linear ou cíclica, contínua ou descontínua, irreversível ou reversível. Alguns o associam a um aspecto genuíno, como uma entidade física, enquanto outros lhe atribuem uma natureza abstrata, às vezes idealizada; para alguns, ele existe apenas na mente humana, enquanto para outros, ele é uma realidade física.

Os fundamentos da Física são um conjunto de princípios ou leis sobre os quais repousa toda sua estrutura. Essas leis são resultado da observação/experimentação, razão pela qual se diz que são empíricas, condição que caracteriza todas as ciências naturais. Nas civilizações antigas se encontram histórias e explicações fantásticas sobre fenômenos naturais e a origem do mundo (EUSTÁQUIO, 2004).

A característica comum de todas essas *explicações* é que a presença de um e/ou de mais seres invisíveis com poderes extraordinários estava implícita nelas. Para membros dessas civilizações, o universo era um sistema caótico onde não havia regularidade, exceto por alguns fenômenos como o dia e a noite, e tudo que acontecia era resultado dos caprichos ou raiva das divindades (CAPRA, 1989).

O homem não podia ter conhecimento e nem muito menos o controle dos fenômenos que observava. Contudo, ao longo do tempo e as múltiplas concepções e contribuições da ciência, as percepções sobre os fenômenos naturais – em que pese aqui o tempo – foram se alterando, ganhando novas evidências e experimentos que as justificaram (CAPRA, 1989; EUSTÁQUIO, 2004).

As hipóteses fundamentais sobre as quais repousa toda a estrutura teórica da Física são hipóteses filosóficas sobre o papel do homem na compreensão do mundo ou conceitos pré-físicos sobre espaço, tempo e sobre a matéria. Estes são os pilares fundamentais sobre os quais se apoia toda a construção da ciência nos dias atuais e, como consequência, passaram por múltiplas alterações ao longo dos anos. Nesse sentido, a existência objetiva do universo, a sua cognoscibilidade e a sua existência de regularidades nos fenômenos da natureza são os pressupostos mais básicos da

concepção científica do mundo e também passaram por modificações à luz de toda a evolução científica (WHITROW, 1993).

Perante o exposto o presente trabalho pretende desenvolver uma revisão de literatura sobre a problemática do tempo na visão clássica e moderna da Física, abordando para isso algumas concepções deste marcador de acordo com alguns autores relevantes, levando em consideração as concepções das antigas civilizações as concepções da visão da mecânica newtoniana e a visão da relatividade de Einstein.

Como motivação pessoal para a realização desta pesquisa, destaco que sempre tive a curiosidade do porquê que algumas equações na Física utilizavam a grandeza de tempo, mas nas aulas de Física seja elas no ensino médio ou na própria universidade, nunca obtive esta explicação, e como no nosso cotidiano e notório que a sociedade atual, seja por motivos ligados à sua organização política e econômico estão se tornado *escravos* do tempo, em diversos sentidos. Nesse sentido, decidi realiza este estudo sobre essa temática afim de obter mais conhecimento e entender como as civilizações antigas interpretavam essas ideias de tempo até os dias atuais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concepções do tempo na antiguidade

As contribuições feitas no campo da Física pelos filósofos gregos é algo grande, de significativa admiração. Vale destacar a grande semelhança nos conceitos físicos desenvolvidos por eles com os conceitos que regem as leis da natureza atuais. No entanto, tal semelhança é distorcida ao amalgamar os conceitos com as crenças místicas da época (WHITROW, 1993).

O desenvolvimento de uma filosofia natural permitiu aos gregos compreender o comportamento da natureza a partir de sua essência, principalmente aquela que rege o movimento e a mudança dos corpos. No entanto, ao mesmo tempo em que foram lançados os fundamentos da cosmologia e forjados os conceitos pertencentes à mecânica clássica, cabe indagar sobre o desenvolvimento do conceito de Tempo, de grande importância na Física clássica e moderna (TOULMIN; GOODFIELD, 2018). Definir o *Tempo* como algo absoluto é uma tarefa difícil. Seu significado varia de acordo com o contexto em que é usado.

No cotidiano, a definição do *Tempo* obedece mais a uma representação do que ao seu próprio formalismo. Ou seja, a definição do *Tempo* como algo físico se delinea mentalmente com representações como dia e noite ou com par de números indicados por um relógio sem postular que:

O tempo é uma magnitude física com a qual medimos a duração ou separação dos eventos, sujeitos a mudanças, dos sistemas sujeitos à observação; ou seja, o período que decorre entre o estado do sistema quando apresentou um estado X e o momento em que X registra uma variação perceptível para um observador (WHITROW, 1993, p. 34).

A menos que, estrategicamente, seja um Físico que responda à definição de Tempo. Seja a definição de Tempo simples ou complexa, o senso de tempo implica uma certa consciência da duração, [e da mudança] e também da diferença entre passado, presente e futuro, fundamentalmente (TOULMIN; GOODFIELD, 2018). A noção cotidiana do Tempo teve seu início a partir do momento em que o homem deu importância à observação do céu (WHITROW, 1993). Nessa perspectiva, o tempo tem sido associado ao início dos ciclos astronômicos na natureza. Essa primeira concepção vem das visões da Antiguidade Clássica e Antiguidade Oriental.

No antigo Egito, o tempo carecia de linearidade. O tempo teve como origem o início do reinado de um faraó, pois este evento foi uma manifestação da imortalidade de Osíris, e sua origem foi reprogramada com o reinado de um novo faraó. Mais tarde, decidiram regular o tempo e estabeleceram um ano civil baseado na subida e inundação do rio Nilo. Mostrado no fragmento abaixo:

“O mito de Osíris, que corporificava esse ciclo de nascimento, morte e renascimento, encerrava uma promessa de imortalidade. Por ocasião da morte do faraó, uma série de ritos o capacitava a tornar-se Osíris, imune, portanto à devastação pelo tempo” (WHITROW, 1993, p. 38).

Este ano civil foi modificado quando perceberam que estava fora de fase com os fenômenos astronômicos registrados, logo o tempo passou a estar ligado aos fenômenos astronômicos e para sua medição, os egípcios criaram instrumentos que relacionavam a observação do Sol e da Lua no céu com a duração de suas atividades. Do exposto, foi estabelecido que juntos o dia e a noite duravam 24 horas (WHITROW, 1993).

Na Mesopotâmia, o Tempo não era atribuído à imortalidade de uma divindade, mas à integração de vontades ou poderes divinos em conflito. O início de um novo ano marcou um novo ciclo solar. No entanto, para evitar alterar a ordem social, os sacerdotes observavam cuidadosa e sistematicamente os corpos celestes para prever os eventos positivos ou negativos que ocorreriam no reino. A astrologia derivou de tal prática e com ela o destino dos homens foi entregue às estrelas. Com isso, adotou-se uma visão cíclica do tempo, de acordo com a periodicidade dos movimentos do sol, da lua e dos planetas (SARAIVA; KEPLER, 2013).

Enquanto na Mesopotâmia a astrologia se tornou um eixo de progresso, na Pérsia o zoroastrismo propunha uma interpretação dualista do Tempo que, embora estivesse relacionada ao comportamento das divindades, não dependia de fenômenos astronômicos. Para eles, o Tempo não tinha limite, nem começo, nem fim; sempre existiu e sua existência era perpétua. O tempo era indivisível – na eternidade - e divisível em partes sucessivas. O tempo poderia ser finito e infinito ao mesmo tempo sem recorrer a ciclos. O tempo infinito representava o progenitor do universo e dos espíritos, enquanto o tempo finito representava a dualidade entre os espíritos do bem e do mal (WHITROW, 1993).

A percepção do Tempo no Zoroastrismo é interessante. Embora não esteja separado das divindades, propor sua divisão em partes sucessivas aproxima-se da percepção do Tempo que rege os fenômenos estudados na física clássica. Por sua vez, essa percepção estabelece um passado, um presente e um futuro, elementos de pouca importância no pensamento mesopotâmico e egípcio. A ideia de partes sucessivas do Tempo se refletirá no pensamento grego, uma vez que herdaram o legado intelectual das civilizações da África Ocidental e Ásia Ocidental. Algo favorável no desenvolvimento do conceito de Tempo na Grécia é que ele perderá seu status de divindade e estará vinculado à mortalidade dos homens.

Uma vez que na Grécia as explicações dos fenômenos naturais deixaram sua essência mítica para ser questionada pela razão, foram construídas estruturas que mais tarde permitiriam aos homens de ciência ler os enigmas do universo. Embora essa mudança na geração do conhecimento tenha sido significativa, a racionalidade [dos conceitos desenvolvidos pelos gregos] nunca se enraizou intelectualmente no desenvolvimento temporal da natureza, nem conseguiu capturar a escala de tempo da criação com maior certeza do que os homens que os precedeu. O tempo era entendido pelos gregos como o início da criação do mundo. Já que suas explicações

não contemplavam o *porquê* mas o *como* das coisas, a definição de tempo carecia de uma perspectiva formal (WHITHOW, 1993; SARAIVA; KEPLER, 2013).

Na busca do *arche*, o Tempo deixou seu caráter cosmológico para se tornar o fundamento dos julgamentos. Heráclito de Éfeso (cerca de 540-470 a.C.), atribuiu essa faceta ao *Tempo* ao considerar a mudança perpétua como uma lei fundamental da natureza, que foi registrada em sua famosa frase: Não se pode banhar duas vezes no mesmo rio. Mais tarde (WHITROW, 1993).

Na época da escola pitagórica, a noção de *Tempo* permanece entre os campos cosmológico e moral em contraste com o grande avanço no desenvolvimento da matemática e da geometria. Segundo Plutarco, quando perguntado a Pitágoras [...] que horas (Cronos) eram, ele respondeu que era a “alma” ou o elemento procriador do universo. A noção que Pitágoras tem sobre o tempo, segundo os historiadores, é semelhante àquela desenvolvida no zoroastrismo (SARAIVA; KEPLER, 2013).

As obras e a filosofia do Ser desenvolvidas na escola pitagórica permitiram a outros pensadores gregos conceber que “o conceito de tempo era difícil de conciliar com sua ideia de racionalidade”. Parmênides (cerca de 530-460 a.C.), ao definir toda a existência do ser, argumentou que o tempo não poderia pertencer à realidade devido à mudança nas propriedades de um corpo. Para ele, o passado e o futuro não tinham sentido e o presente era um único tempo contínuo. Seu pensamento, em relação à definição do Tempo a partir da mecânica clássica, guarda certa semelhança, sobretudo em uma sucessão contínua de eventos que para um observador podem fazer parte de seu presente. Portanto, foi Parmênides quem, por meio de seu raciocínio, estabeleceu o debate sobre a definição do Tempo a partir de sua essência, debate que perdura até hoje na ciência filosófica e física (SARAIVA; KEPLER, 2013).

O raciocínio de Parmênides sugeriu aos pensadores gregos a criação de uma teoria do Tempo. Zenão (cerca de 504/1-? a.C.), tentou moldar essa teoria em seus paradoxos, vinculando um novo elemento: o movimento. Estudiosos do trabalho de Zenão afirmam que ele levantou a hipótese de que espaço e tempo eram infinitamente divisíveis, mas se o tempo é visto como irreal, não há sentido em abordar sua hipótese (SARAIVA; KEPLER, 2013).

As abordagens realizadas por Parmênides e por Zenão sobre o Tempo têm a peculiaridade de não se referirem a ideias cosmológicas. No entanto, Platão (427-367), refletindo sobre o pensamento de filósofos anteriores, mais uma vez vincula o Tempo ao celestial. Platão partiu de um contraste absoluto entre as fórmulas

matemáticas, que são eternamente válidas, e os eventos temporais do mundo, que estão em constante fluxo para oferecer uma definição de *Tempo* baseada na descrição da criação do cosmos a partir de um Artífice Divino (SARAIVA; KEPLER, 2013). No fragmento seguinte do *Timeu* ou da natureza, o acima é detalhado:

[...] Deus resolveu criar uma imagem em movimento da eternidade, e ordenando o céu ele fez na imitação da eternidade, que reside na unidade, esta imagem da eternidade que avança segundo o número que designamos com o nome de tempo. Dias e noites, meses e anos não existiam antes e só nasceram criados por Deus quando ele introduziu a ordem no céu. São partes do tempo, e como ele foge, são o passado e o futuro, formas que em nossa ignorância transportamos muito inoportunamente para o Ser eterno, do qual dizemos: "Foi", "é" e "é". Vai ser"; "é" é tudo o que pode ser verdadeiramente dito sobre isso. As expressões "era" e "será" não são mais apropriadas ao que é engendrado no tempo; [...] Porque o modelo é desde toda a eternidade e o tempo é só do princípio ao fim, tendo sido, sendo e deveria ser. Movido por este desejo e por esta ideia e porque quis que o tempo fosse e seja tal, Deus fez nascer o Sol, a Lua e as cinco estrelas que foram chamados planetas e que se destinam a marcar e manter as medidas do tempo (TOULMIN; GOODFIELD, p. 31)

Aristóteles (384-322), de fato, interpretou a obra de Platão e se opôs aos seus postulados alegando que, para ele, não era possível acreditar que o mundo [veio] à existência em um determinado momento do tempo (SARAIVA; KEPLER, 2013). Em sua objeção, Aristóteles decidiu explicar a presente ordem da natureza para responder ao porquê de criação. Os questionamentos e inconsistências na lógica da definição do tempo no *Timeu* manifestados por Aristóteles fizeram-no postular o que é o conceito de tempo.

A reflexão que Aristóteles realizou a partir de seu postulado e do movimento presente nos corpos permitiu-lhe construir posteriormente uma teoria parcial do tempo, semelhante à definição que Newton daria sobre esse conceito séculos depois (SARAIVA; KEPLER, 2013). Aristóteles concluiu que:

O tempo pode ser visto como um processo de numeração associado à nossa percepção de movimento e mudança antes e depois. A relação entre tempo e mudança é recíproca: sem mudança o tempo não poderia ser reconhecido, enquanto sem o tempo a mudança não ocorreria. "Não medimos o movimento apenas pelo tempo, mas também o tempo pelo movimento, pois eles se determinam reciprocamente, porque o tempo determina o movimento, e o movimento, o tempo (WHITROW, 1993, p. 57).

Embora Aristóteles tenha proposto uma definição de Tempo semelhante à que surgiria séculos depois no desenvolvimento da mecânica clássica, sua crença na

perfeição manifestada no movimento uniforme das estrelas tornava sua ideia de tempo sem importância (CAPRA, 1989). Por sua vez, a permanência de suas ideias no que se observava no cosmos não lhe permitia responder ao *porquê* das coisas, mas ao *como*. Mais uma vez, a física do Tempo estava nas mãos da gênese do universo. Embora os filósofos da Grécia clássica em virtude da razão postulassem conceitos que posteriormente estruturaram o desenvolvimento da física clássica, o misticismo que herdaram de várias civilizações sobre a criação do universo não lhes permitiu lançar formalmente as bases da física. Os filósofos depois de Aristóteles assumiram o conflito da natureza cíclica do universo e entraram em um obscurantismo em que a teologia prevalecia. A noção de Tempo se perdeu e foi novamente ligada ao destino dos homens, como na antiga Mesopotâmia (CAPRA, 1989).

Pode-se dizer em poucas palavras que o conceito de Tempo desenvolvido desde o antigo Egito até a Grécia clássica estava intimamente relacionado aos eventos de mudança observáveis no movimento dos corpos terrestres, estabeleceu uma linearidade da forma passado – presente – futuro e expressou informalmente a existência do tempo como um valor infinitesimal mensurável pela observação do que é no presente. No entanto, essa concepção teve, de fato, pouca importância porque, em geral, os homens daquela época estavam interessados em decifrar os mistérios do universo e em seu cotidiano, o Tempo era um reflexo fiel dos acontecimentos observados nos céus (TOULMIN; GOODFIELD, 2018). As concepções novas só tiveram impacto a partir do renascimento e da física moderna.

2.2 Concepções do tempo pós – renascimento e na física moderna

O nascimento da Física moderna implica também o nascimento do conceito de tempo físico, com a matematização do tempo. Um dos primeiros problemas que ocupou a Física foi o estudo das leis do movimento dos corpos, já tratado por Galileu Galilei (1564-1642), e concluído nas obras de outros pais da Física. É sem dúvida, fundamentalmente, Isaac Newton (1642-1727) quem coloca os adereços mais importantes na construção da Física moderna (SARAIVA; KEPLER, 2013; WHITROW, 1993; TOULMIN; GOODFIELD, 2018).

Os conceitos newtonianos de espaço e tempo, juntamente com a declaração das leis do movimento, serão usados para explicar fenômenos naturais que vão desde o movimento acelerado de objetos na Terra até o movimento dos planetas no Sistema

Solar. O espaço, segundo o modelo proposto por Newton, tem uma categoria de substância pela qual se movem os corpos materiais e também a radiação (TOULMIN; GOODFIELD, 2018).

A distância espacial entre dois eventos é um conceito independente do momento em que ocorrem. O tempo é independente das coisas, e enquanto as coisas mudam, o tempo não muda. As mudanças das coisas são, então, mudanças em relação ao tempo uniforme que serve de vertigem vazia (SARAIVA; KEPLER, 2013; WHITROW, 1993; TOULMIN; GOODFIELD, 2018).

Newton publicou sua obra-prima, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, em 1687. Lá ele apresenta: o tempo absoluto, real e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui igualmente sem dependência de nada externo e, por outro nome, é chamado de duração. O tempo é uma entidade que flui, que se move unidimensionalmente em uma direção, e que pode ser expresso como um parâmetro matemático. Há um tempo absoluto, uma moldura vazia em que as coisas acontecem, e o tempo não tem ação causal sobre elas (MARTINS, 1998).

O principal discípulo de Newton, Samuel Clarke (1675-1729) teve discussão interessante com Gottfried W. Leibniz (1646-1716) sobre a natureza do espaço e do tempo. Para Leibniz, o tempo é a ordem de existência das coisas que não são simultâneas. Assim, o tempo é a ordem universal dos fatos quando não se leva em consideração classes particulares de mudança. Assim como o espaço é uma ordem de coexistências, o tempo é uma ordem de sucessões (MARTINS, 1998; WHITROW, 1993; TOULMIN; GOODFIELD, 2018).

O tempo é, na medida em que relata e ordena os acontecimentos, não como um quadro absoluto em que as coisas acontecem (posição newtoniana defendida na controvérsia por Clarke), mas como um elo entre eles. A visão newtoniana foi aceita pela física até a crítica de Ernst Mach (1839-1916) e acabou sendo rejeitada pelo trabalho de Albert Einstein (1879-1955) no início do século. Para ilustrar como as concepções físicas mudam com a contribuição de Einstein, é interessante considerar o conceito de simultaneidade (CARUSO; OGURI, 2006).

Na mecânica newtoniana, o tempo é absoluto e universal e a característica de simultaneidade é atribuída aos eventos independentemente de onde ocorram. Na teoria da relatividade espacial, que fora enunciada por Einstein em 1905, o tempo é completamente relativizado, tornando-se função de um sistema de referência, a partir

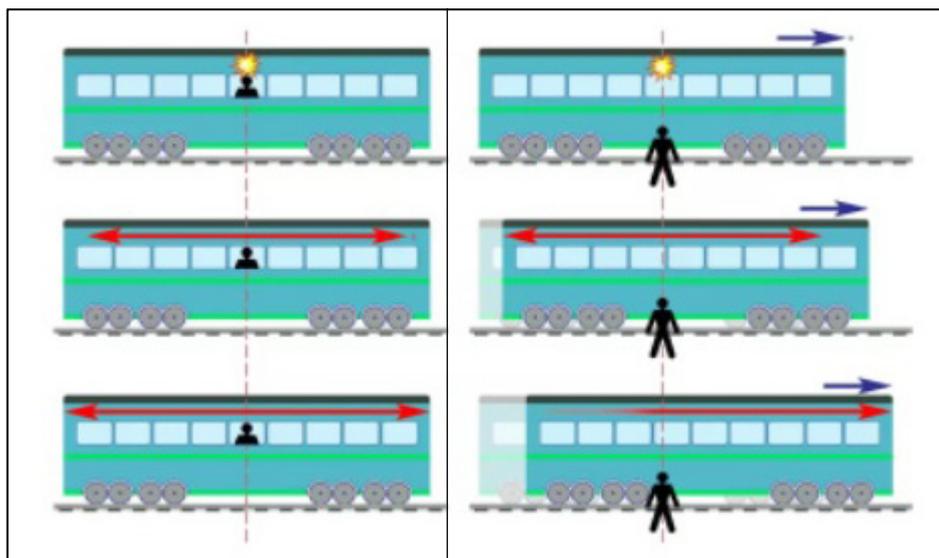
do qual são feitas todas as observações e medições. Não há simultaneidade absoluta (SARAIVA; KEPLER, 2013).

Tem-se dois postulados: I. A velocidade de propagação da luz no vácuo é constante e igual a 300.000 km/s independentemente da velocidade relativa do observador. II. Todas as leis da natureza são as mesmas para todos os observadores. É a relatividade do tempo, juntamente com outras relatividades, que torna possível que todas as leis do Universo sejam as mesmas para todos os observadores. A teoria descarta um observador cósmico hipotético (viável para Newton) para o qual o tempo, de fato, seria absoluto (MARTINS, 1998; CARUSO; OGURI, 2006).

Veja-se como, com os postulados da teoria da relatividade especial, a simultaneidade torna-se um fenômeno relativo e não absoluto, ou seja, o fato de dois eventos serem simultâneos deixa de ser uma propriedade absoluta deles mesmos e passa a depender de como são observados (SARAIVA; KEPLER, 2013; WHITROW, 1993; TOULMIN; GOODFIELD, 2018). O exemplo clássico que ilustra essa afirmação é imaginar um trem se movendo em alta velocidade ao longo de um trilho. (No experimento imaginário essa velocidade deve estar próxima da velocidade da luz). Se no centro de um vagão um viajante emite um clarão de luz para as paredes dianteira e traseira do vagão em um dado instante, ele observará que os clarões atingem ambas as paredes no mesmo instante e, portanto, para ele serão eventos simultâneos (TOULMIN; GOODFIELD, 2018).

Considere-se agora um observador que está na plataforma, de tal forma que os sinais luminosos são enviados justamente quando o viajante que está dentro passa à sua frente. Dado que durante o tempo que a luz, viajando com velocidade finita, leva para atingir as paredes do vagão, o trem se move ao longo dos trilhos por um certo espaço, o observador na plataforma determinará que a luz atinge a parede primeiro. Do que o da frente, pois para ele a distância que a luz tem que percorrer para atingir as duas paredes não é mais a mesma. A parede da frente foge do sinal luminoso enquanto a de trás se aproxima. Para o observador na plataforma, a chegada de luz nas paredes dianteira e traseira do vagão são eventos não simultâneos. Ambos os observadores estão corretos ao descrever o experimento (TOULMIN; GOODFIELD, 2018; SARAIVA; KEPLER, 2013).

Figura 1 – Teoria da relatividade para dos observadores.



Fonte: Modificado por Garlick (2022, p. 1)

Insiste-se, neste caso, no fato do primeiro postulado da relatividade especial de que o fato de a fonte que emite o sinal de luz estar em movimento em relação ao observador na plataforma não afeta o valor da velocidade da luz. Para ele essa velocidade é a mesma do viajante dentro do trem. O aparente paradoxo desaparece quando se aceita que o conceito de simultaneidade depende do sistema de referência que se usa para localizar os eventos. Na física de Newton havia um tempo único, medido por relógios universais, a relatividade impõe a troca desse conceito absoluto por um tempo medido por cada observador em seu sistema de referência e provido de um relógio. Relógios em movimento mudam o ritmo (SARAIVA; KEPLER, 2013).

No estudo de leis do movimento dos corpos, foi fundamental o desenvolvimento de uma ferramenta matemática, no final do século XVII, simultaneamente por Isaac Newton e Gottfried: o Cálculo infinitesimal de Leibniz. O movimento dos corpos é descrito matematicamente por meio de equações diferenciais e essas equações precisam usar o conceito de infinitesimal. Trata-se de relacionar quantidades muito pequenas de espaço (deslocamentos muito pequenos) com quantidades muito pequenas de tempo. O tempo é assim assumido como uma entidade coaduna que flui e pode ser dividida em frações muito pequenas e infinitesimais (MARTINS, 1998; CARUSO; OGURI, 2006).

O conceito de infinitesimal, isto é, de tempo infinitesimal, não foi totalmente compreendido até o século XIX, foi duramente criticado por George Berkeley (1685-

1753), e como amostra da crítica se pode incluir os comentários do aguda Voltaire (1694-1778): O cálculo infinitesimal é a arte de numerar e medir uma Coisa cuja Existência não pode ser concebida (SARAIVA; KEPLER, 2013).

Foi Augustun-Louis Cauchy (1789-1857) em 1821 com seu Cours d'Analyse quem introduziu o conceito de limite, aperfeiçoado cinquenta anos depois por Karl Weierstrass (1815-1897) e permitiu compreender um tempo infinitamente subdivisível, um tempo. Mas Werner Heisenberg (1901-1976) rompeu com o conceito de tempo contínuo e infinitamente fracionado, postulando o Princípio da Incerteza em 1927, no campo da mecânica quântica. Este princípio indica que quanto mais precisa for a determinação do valor da energia de uma partícula, menos precisa será a determinação da coordenada temporal (CARUSO; OGURI, 2006).

Este princípio prova que não há estados instantâneos e que uma condição de tempo discreto deve ser aceita. Para a microfísica, portanto, o tempo não aparece como o fluxo contínuo da microfísica, mas sim como algo descontínuo, granular e irregular. Poderia ter uma natureza semelhante à das partículas elementares. Poder-se-ia, portanto, falar de *cronons*, partículas de tempo (CARUSO; OGURI, 2006). Vê-se, então, como a teoria da relatividade e a mecânica quântica rompem, no início do século XX, dois esquemas clássicos na concepção do tempo pela física. Por um lado, supera-se o conceito de tempo, como quadro absoluto e independente do sistema de referência utilizado, e, por outro, o conceito de tempo como um continuum fluído, certamente um tempo discreto na ordem da microfísica (CARUSO; OGURI, 2006).

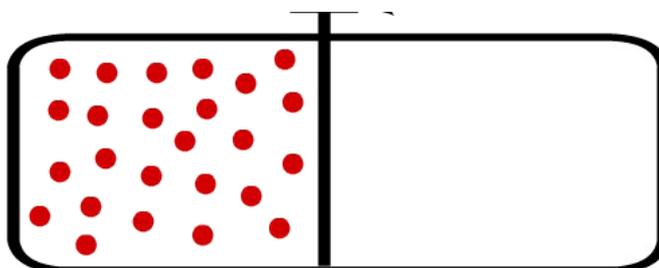
Para medir o tempo, fenômenos que se repetem regularmente têm sido usados desde os tempos antigos. A astronomia fornece unidades como o dia ou o ano a partir dos períodos de rotação da Terra em seu eixo ou translação ao redor do Sol. Esses relógios astronômicos foram relegados hoje por relógios atômicos muito mais precisos. De fato, a unidade básica de tempo é o segundo e sua definição diz que o segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos de radiação correspondentes à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133 (CARUSO; OGURI, 2006). Se até agora se busca responder à pergunta *o que é o tempo* para os físicos, deve-se tentar responder a outra pergunta que geralmente é feita: como o tempo avança? Em direção que se está andando?

Para isso, o astrônomo britânico Arthur Eddington introduziu o conceito da flecha do tempo. De vários fatos físicos, pode-se dizer para onde aponta a seta do tempo, em que direção está avançando. Para as leis da mecânica, eletromagnetismo

ou mecânica quântica, a física é simétrica em relação ao tempo (CARUSO; OGURI, 2006).

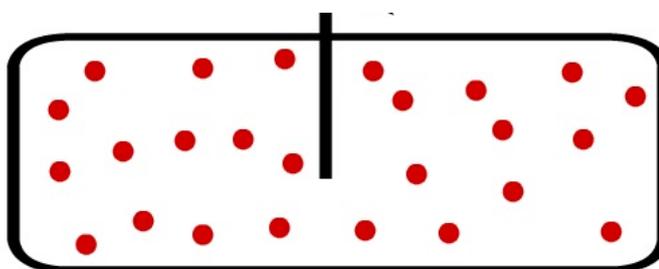
No entanto, hoje vários fatos que não são, e estes permitem definir quatro setas diferentes do tempo. A primeira é a seta termodinâmica do tempo. Baseia-se na segunda Lei a entropia, sempre aumenta nos processos físicos. Um exemplo é o seguinte: imagine-se uma caixa que contém dois compartimentos separados por uma parede, um deles cheio de gás e outro vazio. Caso se elimine a parede que separa os dois compartimentos, o gás se expandirá e preencherá os dois espaços (HAWKING,1994).

Figura 2 - Sistema como gás isolado.



Fonte: Modificado de Lopes Dias (2022, p.2)

Figura 3 - Abertura da parede do sistema.



Fonte: Modificado de Lopes Dias (2022, p.2)

Assim, terá-se alcançado uma situação de maior desordem, com o gás se expandirá e preencherá ambos os espaços. Assim, tem-se alcançada uma situação de maior desordem, com o gás mais difundido. Nunca se poderá voltar à situação inicial, em que todo o gás estava no mesmo compartimento, por mais tempo que se deixe as partículas de gás se moverem (HAWKING,1994).

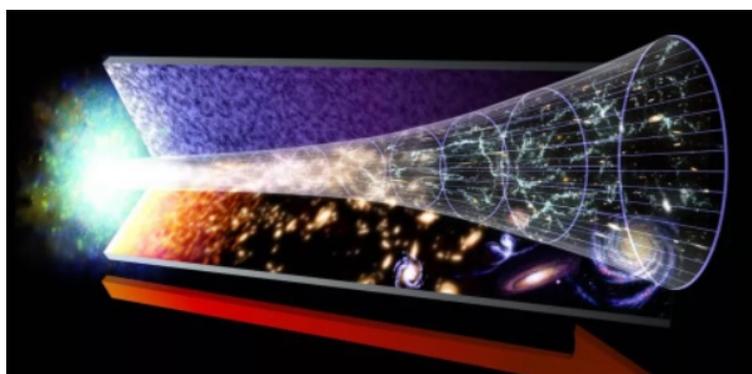
Nesse processo irreversível, a desordem e a entropia do sistema aumentaram. Então se diz que um aumento na entropia é um aumento na quantidade de tempo. O

tempo cresce, avança na mesma direção em que cresce a entropia. Esta é a primeira flecha do tempo (HAWKING, 1994).

A segunda flecha é a do tempo cósmico. Arthur Eddington (1889-1953) descobriu em 1927 que o Universo está se expandindo. A partir daí se pode definir o avanço do tempo no sentido em que o Universo cresce. Este será o tempo cósmico. A flecha do tempo cresce com a expansão do Universo.

Há um começo para esse tempo, o momento do Big Bang, 15.000 milhões de anos atrás. Não se sabe se no futuro o Universo vai parar de se expandir, mas por enquanto se pode definir essa flecha do tempo dessa maneira.

Figura 4 - Uma ilustração do conceito da "seta do tempo".



Crédito da imagem: NASA/GSFC

A terceira flecha do tempo parte de outro fenômeno físico, a desintegração radioativa dos elementos. Não há nada nas leis da microfísica que impeça uma partícula que se desintegra com três partículas diferentes de sofrer o fenômeno inverso, as três se unindo e criando a partícula original, como aconteceria em um filme de vídeo reproduzido ao contrário (CARUSO; OGURI, 2006).

Não há nada que impeça esse processo, mas ele não é observado. Os átomos se desintegram, e se pode definir uma seta do tempo que cresce na direção em que os átomos se desintegram. O antes e o depois das desintegrações radioativas dão a direção de avanço dessa seta do tempo (CARUSO; OGURI, 2006).

A quarta flecha do tempo é o eletromagnético. Da mesma forma que as ondas produzidas por uma pedra caindo em um lago se espalham em círculos concêntricos e nunca se vê essas ondas convergirem até que elas cancelem o efeito da pedra caindo; a radiação eletromagnética se espalha em certo sentido. As ondas de luz não convergem em esferas concêntricas para uma lâmpada ou uma estrela, mas sempre o fazem ao contrário (CARUSO; OGURI, 2006).

Essa sensação de crescimento na propagação das ondas eletromagnéticas define a direção de avanço da quarta seta do tempo. Vê-se que quatro processos físicos não simétricos em relação ao tempo definem quatro setas do tempo para os dias atuais da física moderna: o aumento da entropia, a expansão do Universo, o decaimento radioativo e a propagação das ondas eletromagnéticas. Pode-se falar de uma quinta flecha do tempo, a qual os físicos não tratam psicologicamente, a flecha da consciência humana, que permite distinguir o passado do futuro, a flecha que faz lembrar que aconteceu e saber que existe um tempo para vir (HAWKING, 1994).

3 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica, que buscou padronizar e investigar diversos aspectos relacionados as concepções envolvidas com o conceito de tempo em publicações recentes relacionadas a visão da mecânica newtoniana e a visão da relatividade de Einstein. Foi feito um levantamento de referenciais teóricos, através de livros, dissertações de mestrado e artigos científicos, desse modo, foram feitos fichamentos das obras consultadas.

O tipo de pesquisa foi escolhido por entender que responderia com mais adequação ao problema proposto e atenderia o objetivo. Assim como sugere Lakatos e Marconi (2001, p. 183), a pesquisa bibliográfica:

A pesquisa bibliográfica, [...] abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc., [...] A sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto. [...]

Compreendendo isto, esta pesquisa apresenta concepções acerca do tempo sobre a égide da evolução da física e filosofia (na Antiguidade Clássica). Repassam-se, assim, os conceitos fundamentais que se formaram sobre a civilização grega – e as influências da antiguidade oriental – até as perspectivas teóricas evidenciadas por Albert Einstein, convalidando as amplas modificações ao longo do tempo. Dito isto, estrutura-se em três seções além desta introdução: a primeira apresenta a concepção da física clássica; a segunda a visão da física contemporânea. Por fim, tem-se os resultados e discussões e as considerações finais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método científico, apoiado por essas hipóteses pré-físicas, é o instrumento pelo qual novos conhecimentos são desenvolvidos e adquiridos nas ciências naturais. A homogeneidade e isotropia do espaço e a homogeneidade do tempo são outras hipóteses de trabalho não empíricas estabelecidas na física clássica.

A homogeneidade do tempo refere-se à equivalência entre quaisquer dois instantes de tempo, independentemente de quando são tomados. O conceito de homogeneidade do tempo é introduzido de forma prática usando referenciais onde a origem das coordenadas pode ser selecionada arbitrariamente.

Uma maneira equivalente de expressar a homogeneidade do tempo é afirmar que as leis da física são as mesmas agora que eram há mil anos. A aplicabilidade deste princípio se faz observando os fenômenos que ocorrem em estrelas ou galáxias distantes e usamos os conhecimentos atuais da física para interpretá-los.

A informação que nos chega do espaço exterior é a radiação eletromagnética (luz visível, ondas de rádio, micro-ondas, raios X, etc.), que foi emitida há milhares ou milhões de anos, dependendo da distância da estrela ou galáxia que estamos observando. As conclusões que tiramos são feitas com base em nosso conhecimento atual de física, e isso implica a suposição de que as leis da física há milhares ou milhões de anos, quando a radiação foi emitida, são as mesmas que são hoje.

Da mesma forma, a hipótese da isotropia do espaço aparece no fato de que a orientação dos eixos coordenados, que servem de quadro de referência para analisar um fenômeno físico, é arbitrária.

Quanto à homogeneidade do tempo, isso está implícito no fato de que a origem do tempo é completamente arbitrária. O conceito de homogeneidade do espaço significa que as leis da física são válidas em qualquer lugar do universo. A isotropia do espaço nos diz que se um experimento for realizado em um laboratório onde o equipamento experimental possui uma certa orientação espacial, os resultados obtidos serão os mesmos se a orientação de todos os instrumentos, o sistema a ser analisado e o ambiente forem modificados.

As hipóteses de homogeneidade do tempo e do espaço, assim como a da isotropia do espaço, são utilizadas permanentemente em toda a física e engenharia. No projeto de uma construção, não se pensa que dentro de 10 anos ela possa entrar em colapso porque os princípios físicos e as equações usadas nos cálculos mudarão.

O mesmo se aplica ao projeto de qualquer máquina ou veículo, como um carro, navio, avião ou espaçonave. Os projetistas e construtores de veículos confiam nesses princípios e confiam que eles se manterão mesmo quando a espaçonave ou o automóvel viajarem milhares de quilômetros.

Como a Física é uma ciência experimental, qualquer hipótese feita que leve a resultados que não concordem com os resultados experimentais deve ser descartada. Um exemplo disso ocorreu com a hipótese da simetria esquerda-direita do espaço. Essa suposição estabelece que no espaço não há preferência pela esquerda ou pela direita. A forma como está simetria é aplicada é através do uso indistinto de referenciais à esquerda ou à direita.

Essa simetria, tomada como postulada, era inadequada para descrever fenômenos relacionados à desintegração nuclear por emissão de elétrons. No ano de 1956 foi realizado um experimento onde ficou provado que as interações fracas, uma das forças fundamentais da natureza, distinguem a direita da esquerda; isso é conhecido como violação de paridade de interação fraca.

A homogeneidade e isotropia do espaço, assim como a homogeneidade do tempo, são hipóteses de trabalho para iniciar a construção de um corpo de doutrina que permita explicar os fenômenos da natureza. Essas hipóteses levam às leis de conservação nas quais toda a Física se baseia: conservação do momento linear, momento angular e energia.

Esses resultados têm até agora validade universal, nenhum fato experimental foi encontrado até o momento que os coloque em dúvida. Por outro lado, existem hipóteses na Física pré-relativística sobre espaço e tempo em que estes são considerados absolutos, ou seja, com propriedades que não dependem da presença de matéria ou dos observadores que medem essas propriedades.

Para Newton, o espaço é absoluto, é o palco onde ocorrem os fenômenos naturais e permanece sempre idêntico e imóvel, sem relação com as coisas externas. E o tempo é algo que flui sem relação com nada, independentemente da matéria e seu movimento. Essas ideias permitiram o desenvolvimento da física clássica. No entanto, com o advento da teoria da relatividade desenvolvida por Einstein, esses conceitos sofreram modificações, não sem causar grande confusão entre os físicos, pois acarretam uma mudança que está além de nossa experiência imediata.

Um princípio da Física clássica conhecido como Relatividade Galileana, estabelece a maneira pela qual dois observadores que estão em movimento relativo

com velocidade constante relacionam suas observações de fenômenos físicos. Esse princípio nos leva ao fato de que as leis da mecânica são as mesmas para todos os observadores, e é sustentado pelos conceitos de espaço e tempo absolutos.

Desde que Newton apresentou a formulação matemática da mecânica, entendeu-se que a matemática abriu o caminho para novas descobertas. A universalidade das leis da física e as íntimas analogias entre as coisas, como menciona Poincaré, só podem ser compreendidas através do conhecimento da matemática; nas palavras de Galileu: “o grande livro da natureza está escrito na linguagem da matemática”.

Com a formulação matemática do eletromagnetismo, por Maxwell em 1873, e a confirmação experimental de que a luz é uma onda eletromagnética, foi feita a suposição da existência de um meio para sua propagação. A suposição respondeu à concepção mecanicista do mundo e à ideia de que um meio é necessário para a propagação de uma onda. Este meio foi denominado éter luminífero.

Em 1886 as experiências de Michelson e Morley para detectar o éter deram resultados negativos. Lorentz, em sua tentativa de salvar o éter, assumiu que os objetos se contraíam na direção do movimento.

Em 1905, Albert Einstein, físico totalmente desconhecido na época, publicou três artigos que hoje são referência obrigatória para quem escreve a história da física. Em uma dessas obras, intitulada "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", Einstein supera as dificuldades encontradas em experimentos para detectar o éter com a hipótese de que a luz se propaga com velocidade constante, independente do observador e da fonte.

Esta hipótese é um dos pressupostos fundamentais da teoria da relatividade especial e levou a uma verdadeira revolução na física. Na física relativista, espaço e tempo estavam inextricavelmente ligados. Um não existe sem o outro. A relatividade do tempo e do espaço significa que tanto um quanto o outro dependem do observador. Isso significa que os valores numéricos atribuídos às medições de tempo e espaço por diferentes observadores para os mesmos fenômenos são diferentes. A relação entre eles depende das velocidades relativas entre ambos os observadores.

A relatividade especial permite o estudo de fenômenos onde os campos gravitacionais envolvidos são relativamente pequenos, como o campo gravitacional da Terra, ou do Sol, por exemplo. No caso deste último, com pequenos desvios entre o que a teoria prevê e o que é observado experimentalmente. Em 1915, Einstein

publicou a teoria geral da relatividade, onde espaço, tempo e matéria estão inseparavelmente ligados. A presença de matéria distorce o espaço e o tempo. Uma medição de tempo feita por um relógio no último andar de um prédio é diferente do valor obtido pelo mesmo relógio no térreo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar o desenvolvimento histórico do conceito de tempo pode dar uma compreensão clara de que é uma ideia fundamental necessária para que um ser humano compreenda seu lugar no mundo. Em contraste, parece que cada civilização desenvolveu seu próprio método de caracterização do tempo. Ele era linear para algumas pessoas e cíclico para outras.

Os reflexos podem ser ainda mais óbvios na ciência e na filosofia. A maneira como as pessoas veem o tempo influencia muito sua compreensão do cosmo e da visão de mundo, que se aplica tanto a cientistas quanto a filósofos. Essas reflexões puderam ser sentidas na obra de filósofos e cosmólogos de todas as épocas e localidades. São muitos os pensadores que se ocuparam ao longo do tempo, pelo menos em algum momento de suas vidas, e entre eles estão, sem dúvida, muitos dos que mais tiveram impacto no desenvolvimento do conhecimento humano.

REFERÊNCIAS

WHITROW, G. J. - O Tempo na História: concepções do tempo da pré-história aos nossos dias. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges, Rio de Janeiro, Jorge Zahar Ed., 1993.

TOULMIN, S.; GOODFIELD, J. A descoberta do tempo. Primeira edição. Barcelona Espanha. Editorial Paidós. 2018.

CAPRA, F. O tao da física: uma exploração dos paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental. São Paulo: Cultrix, 1989.

EUSTÁQUIO, S. R. Introdução a cosmologia. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

HAWKING, S. W. - *Breve História do Tempo*. Trad. Ribeiro da Fonseca, Lisboa (Portugal), 4ª edição, 1994.

SARAIVA, M. F. O.; KEPLER, S. O. *Astronomia e astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

CARUSO, F.; OGURI, V. *Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2006.

MARTINS, A. F. P. *O ensino do conceito de tempo: contribuições históricas e epistemológicas*. 1998. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LOPES DIAS, D. *Entropia. Definição e características da entropia*. II. color. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/entropia.htm>>. Acesso em: 30 de nov. 2022.

FRANCIOLLE, Marcello. *O que é o tempo?*. 6 de abril de 2022. II. color. Disponível em: <<https://gaiaciencia.com.br/o-que-e-o-tempo-espaco--fisica>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científicas*. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2001.