

A CONTRIBUIÇÃO DE STEPHEN HAWKING

SILVA, Jeremias Fontinele da¹
RU - 3237014
ARIAS, Alexandre Peres²

Resumo

Em pleno século XXI este trabalho tem por temática a física mecânica e delimita-se nas contribuições de Stephen Hawking, haja vista que antes deste acreditava-se que os buracos negros seriam perpétuos e não emitiam energia. Depois dele, a teoria é de que eles, buracos negros, existem e são efêmeros (evaporam) podendo emitir partículas e radiação quando explodem. Além do feito de unir a mecânica clássica à quântica. Este artigo tem por objetivo conhecer os feitos deste cientista inerente as leis da mecânica e do universo por meio de suas contribuições para a física do século XXI no campo dos buracos negros. Metodologicamente trata-se de uma pesquisa qualitativa subsidiada por um levantamento bibliográfico do tipo exploratório e uma pesquisa documental. O artigo inicia com uma breve história do tempo de Hawking, perpassando por intensas descobertas quanto aos buracos negros, termodinâmica quântica, radiação Hawking, e tem por chegada suas contribuições para a física do século XXI. Percebe-se pela pesquisa desenvolvida neste artigo que as contribuições de Stephen Hawking para a compreensão da gravidade, buracos negros e da cosmologia quântica mudaram a física mecânica e são verdadeiramente imensas. Sendo suas maiores contribuições a equação da entropia e a de radiação de um buraco negro.

Palavras-chave: Buraco Negro. Termodinâmica. Radiação Hawking. Mecânica.

INTRODUÇÃO

No século XIX a Física surge dividida em vários ramos: mecânica, calor, som, óptica e eletromagnetismo. A esta classificação chamamos de Física Clássica hodiernamente. No início do século XX surgiu a Física Moderna com a mecânica quântica e a teoria da relatividade. Já no século XXI a Física tem desenvolvido teorias e leis na área do mundo subatômico (quântica) e na incessante busca pela compreensão do universo. A temática deste artigo encontra-se na mecânica (celeste, quântica ou do movimento) que é vista por muitos cientistas como o unificador das teorias por estar presente em todos os ramos da Física.

¹ Aluno do Centro Universitário Internacional UNINTER. Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharel em Física. 2º semestre - 2020.

² Professor Orientador no Centro Universitário Internacional UNINTER.

No dia 14 de março de 2018, no condado de Cambridge (Cambridgeshire) na Inglaterra, o mundo perdeu um destes cientistas, aos 76 anos, vítima da doença Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) com a qual conviveu por 55 anos. Stephen William Hawking (1942-2018) é o físico mais conhecido, ao lado de Albert Einstein (1879-1955), mundialmente. Físico teórico, membro da Royal Society e cosmólogo britânico, reconhecido internacionalmente por suas imensuráveis contribuições à ciência. Contribuições como os estudos acerca dos buracos negros; origem do universo; radiação de escape; a teoria do tudo; buracos de minhocas; etc.

Este trabalho delimita-se no fato de que antes de Hawking, acreditava-se que os buracos negros seriam perpétuos e estes não emitiam energia. Depois dele, a teoria é de que eles, buracos negros, existem e são efêmeros (evaporam) podendo emitir partículas e radiação quando explodem.

Diante disso, surge a seguinte indagação: quais as contribuições de Stephen Hawking para a física mecânica do século XXI?

O objetivo da pesquisa é conhecer os feitos deste cientista inerente as leis da mecânica e do universo por meio de suas contribuições para a física do século XXI no campo dos buracos negros.

Neste contexto, este tema encontra sua relevância frente aos desafios sociais, econômicos e políticos vivenciado pela sociedade do século XXI, haja vista que o estudo da mecânica é de grande importância para determinadas áreas. E, dentre estas, há alguns profissionais que lidam diariamente com esta área como: engenheiros civis, agrônomos, mecânicos, hidráulicos e eletricitas; pilotos de avião; físicos e muitos outros. Sem mencionar que as tecnologias disruptivas³ são, em sua essência, constituídas pela Física mecânica.

Almejando alcançar o objetivo deste estudo, ousamos lançar um olhar sobre as descobertas do pesquisador PhD. Stephen William Hawking sob três partes específicas: 1 – uma breve história sobre o pesquisador; 2 – descrever a investigação em física mecânica inerente ao buraco negro e 3 – identificar as contribuições das descobertas de Stephen Hawking para a física do século XXI.

³ **Tecnologias Disruptivas** é o termo utilizado ao conjunto de tecnologias como: robótica; inteligência artificial (IA); realidade aumentada, virtual e mista; big data (análise de volumes massivos de dados); nanotecnologia; impressão 3D (manufatura aditiva); biologia sintética (SynBio); Sistemas Ciber-Físicos (CPS); computadores quânticos; teletransporte quântico e a chamada internet das coisas (IoT) que provocaram uma ruptura com os padrões, modelos ou tecnologias já estabelecidas no mercado.

Quanto a metodologia, este artigo é uma pesquisa básica de caráter qualitativa do tipo exploratória de cunho bibliográfica subsidiada por uma pesquisa documental. A pesquisa foi realizada nas bases acadêmicas: SciELO (Scientific Electronic Library Online); Periódicos Capes (CAPES/MEC) e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD); bem como no buscador Google acadêmico (Google scholar). Os termos de busca foram: “buraco negro” AND “física mecânica”; “Stephen Hawking” AND “termodinâmica”; e “Stephen Hawking” AND “física” AND “século XXI”.

Espera-se com este artigo ressaltar a vida abnegada desde gênio moderno que, apoiando-se sobre os ombros de gigantes como Sir. Isaac Newton, Galileu Galilei e Albert Einstein, mudou a nossa concepção sobre de onde viemos e para onde iremos.

STEPHEN HAWKING DO INVISÍVEL AO VISÍVEL

Stephen tornou a física mecânica acessível pela literacia conotativa⁴. Dentre seus livros destinado ao público em geral temos: Uma breve história do tempo (1988); uma coletânea sobre Buracos negros, universos-bebês e outros ensaios (1993); O universo numa casca de noz (2001); Uma nova história do tempo (2005); O grande projeto (2010); Minha breve história (2013); Buracos negros (2017); e Breves respostas para grandes questões (2018).

Outrossim, Stephen Hawking relacionou as leis de Newton, a relatividade geral e a Mecânica Quântica, teorias que sempre foram incompatíveis para os cientistas. Estes fatos nos levam a crer que existiu uma física antes e outra depois de Hawking.

Suas descobertas no campo da mecânica celeste estão a serem confirmada (e estão sendo) assim como ocorreu com os outros gênios que o antecedeu. Contudo tenhamos a certeza de que *o grande inimigo do conhecimento não é a ignorância, é a ilusão de ter conhecimento*. (Stephen William Hawking, 1942-2018).

Uma breve história do tempo Hawking

Iniciamos nossa viagem acerca da vida de Hawking pelo horizonte de eventos narrados pelo próprio Stephen. Segundo (HAWKING, 2013, p. 10-14) este nasceu no dia 08 de janeiro de 1942, em Oxford - Inglaterra, com o nome de Stephen William Hawking. Filho de Frank Hawking (1905-1986) e Isobel Hawking (1915-2013) ambos formados pela Universidade de Oxford.

⁴ **Literacia conotativa** no sentido de transmutar os difíceis conceitos da física mecânica em uma alfabetização usual, desta linguagem, acessível a todos.

Strathern (1998, p. 8) destaca dois aspectos interessantes quanto a data do nascimento de Hawking. Primeiro ter nascido no dia que completava os exatos cronológicos 300 (trezentos) anos da morte de Galileu Galilei (1564-1642) e, também 300 anos, do nascimento de Sir. Isaac Newton (1642-1727). O segundo aspecto é inerente ao local de nascimento de Stephen, haja vista que a família Hawking residia em Londres durante a Segunda Guerra Mundial. Este aspecto é explicado por Hawking (2013) da seguinte forma:

Nasci em Oxford, embora meus pais morassem em Londres. Isso aconteceu porque, durante a Segunda Guerra Mundial, os alemães firmaram um acordo que estabelecia que não bombardeariam Oxford e Cambridge se os britânicos não bombardeassem Heidelberg e Göttingen. (HAWKING, 2013, p. 13).

Hawking somente aprendeu a ler com a idade de oito anos, haja vista a metodologia de ensino da Byron House School, em Highgate - Londres, onde “as crianças tinham de aprender a ler sem perceber o que estava sendo ensinadas (HAWKING, 2013, p. 15). Quanto ao seu desempenho na educação básica (fundamental e médio) temos que Stephen Hawking:

Sempre fui um aluno mediano. (Era uma turma muito brilhante.) Meus trabalhos escolares não tinham capricho e minha caligrafia era o desespero dos professores. Mas meus colegas me apelidaram de Einstein, de modo que é de se presumir que viram sinais de algo melhor em mim. Quando eu tinha doze anos, um de meus amigos apostou um saco de doces com outro que eu nunca seria ninguém. Não sei se tal aposta foi paga algum dia, e se foi, quem a ganhou. (HAWKING, 2013, p. 26).

Contudo, isso não o impediu de, com a idade de 17 anos, chegar à Universidade de Oxford para estudar ciências naturais, com ênfase em física. Hawking passara a considerar a matemática como a própria chave para a compreensão do universo como um todo (STRATHERN, 1998, p. 11). Aos 20 anos iniciou seu Ph.D. em Cambridge e foi diagnosticado com esclerose lateral amiotrófica:

Os médicos me disseram para voltar a Cambridge e continuar a pesquisa que eu acabara de começar sobre relatividade geral e cosmologia. Mas eu não estava fazendo progressos, — porque não tinha muita formação matemática — e, mesmo assim, era difícil me concentrar sabendo que eu poderia não viver tempo o bastante para terminar meu Ph.D. (HAWKING, 2013, p. 41).

Stephen Hawking, aos 24 anos, concluiu o doutorado em Física Teórica, em 1966, pela Universidade de Cambridge, sob a supervisão de Dennis William Siahou Sciama (1926-1999). “Apesar da sua condição física progressivamente limitativa, manteve-se extremamente ativo na investigação nas áreas de cosmologia, física dos buracos negros e gravitação quântica” (BERTOLAMI; GOMES, 2018, p. 29).

No início da década de 60 as duas grandes descobertas do século XX, a relatividade geral e a teoria quântica, estavam sendo rigorosamente aplicadas à essência do universo, fosse na escala subatômica, fosse na escala galáctica (STRATHERN,1998, p. 11). A relatividade indicava que o espaço era curvo e que o universo tinha um limite. Por outro lado, a física quântica afirmava que as leis da física no mundo macro não são aplicadas no mundo atômico ou subatômico.

A grande questão em cosmologia no início da década de 1960 era se o universo tinha um princípio. Muitos cientistas instintivamente se opunham a essa ideia e, como consequência, à teoria do Big Bang, porque sentiam que estabelecer um ponto inicial da criação levaria a ciência a um impasse. Seria necessário apelar para a religião e a mão de Deus para determinar como o universo tinha começado. (HAWKING, 2013, p. 26).

Foi uma época de calorosas discussões acerca das singularidades (realidade e ubiquidade) “que são pontos no espaço-tempo onde a Teoria da Relatividade Geral deixa de fazer sentido” (BERTOLAMI; GOMES, 2018, p. 29). Hawking define singularidade como sendo o ponto onde “uma estrela uniforme, esfericamente sistemática e simétrica se contrairia até se transformar em um único ponto de densidade infinita. Tal ponto é chamado de singularidade” (HAWKING, 2017, p. 14).

Na segunda metade da década de 1960, Hawking e o físico matemático inglês Roger Penrose demonstraram que essas singularidades eram inevitáveis no contexto da Teoria da Relatividade Geral (BERTOLAMI; GOMES, 2018). Em 1975 ele teorizou que os buracos negros deveriam radiar termicamente a uma temperatura específica e inversamente proporcional às suas massas. Essa radiação recebeu o nome de Radiação Hawking.

Stephen descobriu alguns meses depois, para surpresa de todos, que todos os buracos negros, mesmo aqueles que não giram e, portanto, não têm energia de giro para extrair, emitem partículas a uma taxa constante. Este fenômeno passou a ser conhecido como radiação Hawking. (THORNE, et al. 2019, p. 22).

Esta descoberta deu origem ao paradoxo da informação, no qual a informação que entrava no horizonte de evento se perdia. Da mesma forma esta contribuição trouxe equivalência entre a dinâmica e a termodinâmica de buracos negros.

***Eppur si muove!* (E ainda assim se move!)**

Em 1783, John Michell (1724-1793), publicou um artigo na *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Transações Filosóficas da Sociedade Real de Londres) no qual havia a proposta da existência de estrelas maciças com um

enorme campo gravitacional. De tal forma que nem a luz poderia escapar. Ele as chamou de “estrelas escuras” (HAWKING, 2013, p. 53).

Esta foi a primeira vez que se cogitou a existência de um buraco negro. Entretanto este termo foi cunhado, em 1969, pelo físico teórico estadunidense John Archibald Wheeler (1911-2008) como uma descrição gráfica da ideia de John Michell (MLODINOW; HAWKING, 2008, p. 50). Um experimento mental bastante interessante para conceituação de um buraco negro nos é dado por Hawking (2017):

Pense em um ralo gigante onde a água escoar em espiral. Quando qualquer coisa desliza para a beirada desse ralo — o que chamamos de “horizonte de eventos” —, não há volta. Os buracos negros são tão poderosos que até a luz é sugada, e por isso não podemos de fato vê-los. (HAWKING, 2017, p. 11).

Os teoremas da singularidade despertaram o interesse de Hawking em relação aos buracos negros. Isto pois, o teorema de Hawking-Penrose descreve a singularidade como um local onde a densidade da massa seria infinita, o volume seria zero e o tempo simplesmente pararia. (THORNE, et al. 2019, p. 17). “Einstein jamais aceitou que os buracos negros ou que a matéria pudesse ser comprimida até a densidade infinita” (HAWKING, 2013, p. 53).

Em 1965, Roger Penrose descobriu o conceito do "horizonte aparente" de um buraco negro, ou seja, o ponto em que a luz e toda a matéria estão presas localmente (PENROSE, 1965, p. 2). Ele, Penrose, usou esse conceito, topologia diferencial e as equações de Einstein para provar que no núcleo de cada buraco negro deve haver uma singularidade física.

Stephen Hawking, usando a metodologia e descobertas de Penrose, conceituou o termo “horizonte de eventos” como sendo “a superfície, sobre um buraco negro em evolução, no qual a luz e a matéria estão absolutamente presas e nunca podem escapar” (THORNE, et al. 2019, p. 18). Da mesma forma, demonstrou que o horizonte aparente é sempre circundado pelo horizonte de eventos.

Ainda restava explicar como o buraco negro deixa de existir (evapora), considerando o princípio da conservação da energia, a teoria da relatividade e a física quântica. Esta explicação foi a maior contribuição de Hawking para a mecânica.

De acordo com a teoria da relatividade, nada pode viajar mais rápido que a luz. Portanto, se a luz não conseguir, escapar, nada mais poderá; tudo será tragado de volta pelo campo gravitacional. Outra consequência da teoria da relatividade é a equivalência entre massa e energia de acordo com a equação de Einstein: $E = mc^2$

(na qual E é energia; m é massa; e c^2 é a velocidade da luz ao quadrado). Ou seja, se a energia de um objeto aumenta, o mesmo acontece com sua massa, isto é, sua resistência a alteração da aceleração ou da velocidade aumenta.

De acordo com a teoria da relatividade, um objeto nunca poderá de fato atingir a velocidade da luz, porque, nesse ponto, sua massa teria se tornado infinita e, segundo a equivalência de massa e energia, seria preciso uma quantidade infinita de energia para chegar até lá. É por essa razão que qualquer objeto normal está confinado para sempre pela relatividade a se mover a velocidades menores que a da luz. Somente a luz, ou outras ondas que não tenham massa intrínseca, pode se mover à velocidade da luz. (MLODINOW e HAWKING, 2005, p.28).

De acordo com Stephen Hawking, uma flutuação do vácuo pode criar um par virtual, partícula-antipartícula, no horizonte de eventos de um buraco negro. Um membro do par teria energia positiva e escaparia para o infinito, onde apareceria como radiação. O outro teria energia negativa, mas poderia continuar a existir sem ter que aniquilar porque um buraco negro contém estados de energia negativa.

Pode-se pensar na partícula de energia negativa como uma partícula de energia positiva viajando para trás no tempo da singularidade do buraco negro até que ela seja espalhada para a frente no tempo onde o par virtual aparece pela primeira vez.

Essas partículas são chamadas de “virtuais” porque, ao contrário das partículas reais, não podem ser observadas diretamente com um detector de partículas. De qualquer forma, é possível medir seus efeitos indiretos, e sua existência foi confirmada por um pequeno desvio, chamado deslocamento de Lamb, que elas produzem nos níveis de energia do espectro da luz emitida por átomos de hidrogênio excitados. (HAWKING, 2017, p. 29-30).

Pela lei de conservação da energia, a segunda partícula (partícula que fica no buraco negro) tem energia negativa e, portanto, a massa do buraco negro diminui. Para um observador externo, o fenômeno é visto como uma emissão de partículas, que constitui a chamada radiação de Hawking.

Se a massa perdida através desse processo é maior que a massa ganha pela incorporação de novas partículas, o buraco negro acaba por evaporar (TIPLER e LLEWELLYN, 2017, p. 693). Essa evaporação acarretaria uma explosão de raios gama com alta concertação de energia.

O poder dessas explosões depende de quantas espécies diferentes de partículas elementares existem. Considerando um buraco negro primordial com massa de 10^{15} grama, no modelo quark, essas explosões teriam uma energia

equivalente a uma bomba de hidrogênio de 10^7 megatons cada” (THORNE, et al. 2019, p. 21).

Como todos na época, eu aceitava a máxima de que um buraco negro não podia emitir coisa alguma. (...) O que finalmente me convenceu de que se tratava de um processo físico real foi o fato de que os comprimentos de onda das partículas que saíam eram precisos em termos de temperatura. Meus cálculos previam que um buraco negro criaria e emitiria partículas e radiação exatamente como se fosse um corpo aquecido comum, com temperatura proporcional a sua gravidade de superfície e inversamente proporcional a sua massa. (HAWKING, 2017, p. 29-30).

Termodinâmica quântica e a radiação Hawking

O horizonte de eventos tem sua área superficial aumentada quando matéria ou radiação cai no buraco negro. “Essa propriedade sugere que existe uma similaridade entre a área do horizonte de eventos de um buraco negro e a física newtoniana convencional, mais especificamente o conceito de entropia da termodinâmica” (HAWKING, 2017, p. 21).

A Segunda Lei da Termodinâmica afirma que a entropia (ou desordem) dentro de um sistema isolado permanecerá sempre a mesma ou aumentará. Sendo que, caso dois desses sistemas se juntam, sua entropia combinada será maior do que a soma das entropias anteriores (STRATHERN, 1998, p. 22).

A segunda lei da termodinâmica quântica de Hawking pode ser anunciada da seguinte forma: “em qualquer interação a área da superfície (A) de um buraco negro nunca pode decrescer” sendo sua representação matemática: $\Delta A \geq 0$. Para que isso fosse verdade a entropia $\Delta S \geq 0$ (S = entropia da área do horizonte de eventos) deveria existir em um buraco negro.

Hawking desenvolveu, com base na 2ª lei termodinâmica de Newton, uma equação com as quatro constantes fundamentais da natureza (Boltzmann, Planck, Luz e Gravidade) que comprovou a relação existente entre termodinâmica e gravidade.

Conforme a equação: $S = \frac{Akc^3}{4\hbar G}$, onde: S é a entropia; A é a área do horizonte de eventos; \hbar é a constante de Planck; c é a velocidade da luz; G é a constante gravitacional de Newton; k é a constante de Boltzmann (HAWKING, 2013, p. 57).

Neste contexto, termodinâmica do buraco negro, destacamos outra contribuição de Stephen Hawking para a mecânica denominada Radiação Hawking. Como dissemos anteriormente a radiação de um buraco negro transporta energia para fora; dessa forma, o buraco negro perde massa e encolhe.

Em seus cálculos Hawking sugeriu que a “radiação era estritamente térmica e aleatória, como tem que ser se a área do horizonte deve ser a entropia do buraco negro” (HAWKING, 2013, p. 59). Essa afirmação causou um burburinho entre os físicos, haja vista a crença de que nada sairia de um buraco negro somente poderia ser absorvido por este.

O que convenceu Stephen Hawking foi que as partículas de saída tinham precisamente um espectro térmico, ou seja, o buraco negro criou e emitiu partículas e radiação como qualquer corpo quente. Considerando o buraco negro de Schwarzschild⁵ surgiu a mais famosa equação de Stephen Hawking na qual a temperatura é dada por: $T = \frac{\hbar c^3}{8\pi GMk}$ onde: T é temperatura do buraco negro; \hbar é a constante de Planck; c é a velocidade da luz; k é a constante de Boltzmann; G constante da gravitacional de Newton; M massa do buraco negro.

Stephen Hawking para a física do século XXI

Antes de Stephen Hawking, a física mecânica acreditava que os buracos negros eram perenes e não emitiam nenhum tipo de energia. No século XXI temos a certeza que eles existem, são efêmeros e que evaporam. Da mesma forma, sabemos que eles, buraco negro, emitem partículas e energia em forma de radiação quando explodem. Tudo isso graças ao físico teórico Hawking.

Outrossim, Hawking conseguiu encontrar uma relação matemática entre a Teoria da Relatividade Geral de Einstein e a Mecânica Quântica, teorias que eram postuladas como incompatíveis por grande parte dos pesquisadores da área.

Para os físicos sucessores de Hawking no século XXI resta desenvolver a equação de equação de John Archibald Wheeler (1911-2008) e Bryce DeWitt (1923-2004). Esta equação (análoga à equação de Schrödinger da Mecânica Quântica), na cosmologia quântica, busca adaptar a equação de onda de Schrödinger ao espaço-tempo curvo da relatividade geral.

A proposta de James Burkett Hartle e Hawking é que a função de onda quântica descreva um espaço-tempo sem fronteiras (*No-Boundary proposal*). “A ideia é que à medida que retrocedemos no tempo, chegamos a um ponto em que o Universo é pequeno o suficiente para que efeitos quânticos sejam dominantes” (BERTOLAMI;

⁵ O buraco negro de Schwarzschild resulta da resolução das equações do campo no vácuo para um espaço-tempo com simetria esférica. Esta solução contém a descrição exata de um buraco negro sem carga e sem rotação.

GOMES, 2018, p. 30).

Nesta altura, existe uma espécie de “espuma” do espaço-tempo de tal modo que o tempo não pode ser interpretado do modo como o vemos hoje, mas sim como uma quarta dimensão espacial. Uma analogia útil é a seguinte: se viajarmos para o Polo Sul, temos de seguir sempre para sul, mas quando alcançamos o ponto do Polo Sul já não faz sentido falarmos na direção sul; pelo mesmo raciocínio, ao retrocedermos no tempo há um ponto/instante em que não faz sentido falar-se em tempo. (BERTOLAMI; GOMES, 2018, p. 30).

Hawking deixou migalhas de pão para serem seguidas que nos leva, matemática, a transição de um espaço-tempo de Minkowski (Hermann Minkowski 1864–1909), Teoria da Relatividade Restrita, para um espaço Euclidiano com quatro dimensões, no qual o tempo passa a ser um número puramente complexo e depois zero.

“Em seu último artigo sobre cosmologia, Stephen argumentou que a forma holográfica da função de onda quântica reduz o multiverso na inflação eterna a um conjunto gerenciável de universos em grande parte uniformes e finitos” (THORNE, et al. 2019, p. 32).

Outro aspecto a ser estudado no século XXI, resultante de Hawking, é o chamado paradoxo da informação em buracos negros. A informação para ser captada e entendida pelos receptores de sentidos do ser humano dependem da energia eletromagnética, ou seja, dependem da presença de luz.

Porém, os buracos negros absorvem tanto matéria quanto energia eletromagnética e, à medida que perde massa fica cada vez mais quente (estado misto), vai evaporando (estado puro) e produzindo nada além de radiação térmica Hawking. Na transformação entre um estado misto e um estado puro, deve-se jogar fora as informações. Esse fato não pode ser confirmado no mundo macro nem no micro quântico.

Conforme (THORNE, et al. 2019, p. 32) a radiação térmica final produzida pelo buraco negro tem enorme entropia von Neumann (John von Neumann 1903-1957) e é independente de como o buraco negro foi formado. A mecânica quântica requer que a evolução do tempo de um sistema seja unitária e, conseqüentemente, a entropia de von Neumann é constante no tempo.

O caminho para encontrar a solução do paradoxo da informação perpassa pela descoberta, em 1999, do físico argentino Juan Martín Maldacena denominada correspondência anti-sitter de campo espacial-conformal (AdS/CFT) que pode ser entendida como uma relação conjectural entre duas teorias da física, quais sejam: a

teoria da gravidade quântica associada a teoria-M (cordas); e a teoria de campo conformados (teoria de campos). Em síntese podemos dizer, pela descoberta de Maldacena, que o cosmo pode ser um holograma.

A entropia surge de uma teoria de campo conformal holográfica no horizonte dos buracos negros, dos quais os microestados reproduzem a entropia do buraco negro. Na interpretação de Boltzmann da entropia, esses microestados determinam o estado quântico do buraco negro. Assim, o buraco negro poderia ter seu estado quântico determinado pela forma como o buraco negro se formou. (THORNE, et al. 2019, p. 35).

Embora esta não seja uma solução para o paradoxo da informação, a teoria de Maldacena abre caminho para trabalhos futuros que possam fornecer a resolução completa para a pergunta feita, em 1976, por Stephen Hawking: a informação é perdida no processo de formação e evaporação de buracos negros?

Conforme (BERTOLAMI; GOMES, 2018, p. 31) nos últimos tempos Hawking demonstrou interesse acerca do desenvolvimento de Inteligência Artificial (IA) e da inevitabilidade da exploração espacial. No caso da IA ele visualizava com certa preocupação, pois apesar dos inegáveis benefícios o domínio da inteligência artificial comporta sérios riscos à continuidade da humanidade.

Ainda, segundo o mesmo autor, inerente à exploração espacial, Stephen Hawking encarava as viagens espaciais como uma forma de preservar a humanidade de riscos de destruição devido a guerras nucleares, ou epidemias devido a vírus geneticamente. Este pensar de Hawking nos faz lembrar de Einstein quando fala que: “I do not know how the Third World War will be fought, but I can tell you what they will use in the fourth - rocks.⁶” que em nossa tradução significa “não sei como será travada a Terceira Guerra Mundial, mas posso dizer o que eles usarão na quarta - pedras.”

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se pela pesquisa desenvolvida neste artigo que as contribuições de Stephen Hawking para a compreensão da gravidade, buracos negros e da cosmologia quântica mudaram a física mecânica e são verdadeiramente imensas.

Essas contribuições começaram com os teoremas da singularidade na década de 1960, seguidos por sua descoberta de que os buracos negros têm uma temperatura finita e emiti uma radiação térmica, hoje denominada de radiação Hawking. Não podemos esquecer o enunciado da 2ª lei da termodinâmica quântica.

⁶ Calaprice, Alice; Lipscombe, Trevor (2005). *Albert Einstein: a biography*. [S.l.]: Greenwood Publishing Group. p. 124.

O seu trabalho na interação entre a mecânica quântica e a relatividade geral resultou em sua formulação do conceito da função de onda do universo. A tensão entre a mecânica quântica e a relatividade geral levou a suas lutas com o paradoxo da informação sobre conexões profundas entre essas áreas fundamentais da física.

Acreditamos termos alcançados o nosso objetivo de conhecer os feitos deste cientista inerente as leis da mecânica e do universo por meio de suas contribuições para a física do século XXI no campo dos buracos negros. Hawking transformou o invisível em visível, ousou afirmar que apesar de não vemos o buraco negro ainda assim ele se move. A maior contribuição de Hawking são a equação da entropia e a de radiação de um buraco negro.

Stephen Hawking legou-nos uma extraordinária contribuição científica, humana, diversas hipóteses, conjunturas e teorias, ou seja, pensou na sociedade de ontem, hoje e a do futuro. Fazendo valer o epitáfio do seu túmulo na Abadia de Westminster que diz: “aqui jaz o que era mortal de Stephen Hawking”. Haja vista que $T = \frac{\hbar c^3}{8\pi GMk}$ e $s = \frac{Akc^3}{4\hbar G}$ são imortais e ainda tem muito a contribuir para a humanidade.

REFERÊNCIAS

BERTOLAMI, Orfeu; GOMES, Cláudio. Stephen Hawking e a sua contribuição para a física teórica, **Revista de Ciência Elementar**, vol. 6, nº. 2, p. 29-31, 2018. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/6/2/>>. Acesso em: 27/07/2020.

HAWKING, Stephen W. **Minha breve história**. 1ª ed., Rio de Janeiro: Intrínseca; tradução de Alexandre Raposo, Julia Sobral Campos; e Maria Carmelita Dias. 2013.

HAWKING, Stephen W. **Buracos Negros: Palestra da BBC Reith Lectures**. 1ª ed.; Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2017.

MLODINOW, Leonard; HAWKING, Stephen. **Uma nova história do tempo**. Tradução de Vera de Paula Assis. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ediouro. 2005.

PENROSE, Roger. Gravitational collapse and space-time singularities. **Physical Review Letters**, New York, vol.14, nº. 3, jan/1965. Disponível em: <<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.14.57>>. Acesso em: 01/08/2020.

STRATHERN, Paul. **Hawking e os buracos negros em 90 Minutos**. 1ª ed., São Paulo: ZAHAR; tradução de Maria Helena Geordane. 1998.

THORNE, Kip Stephen; et al. Stephen William Hawking - Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. **The Royal Society Publishing**, Londres-UK, vol. 66, p. 267-308, April/2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsbm.2019.0001>>. Acesso em: 27/07/2020.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.