

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

HENRIQUE SOBRINHO GHIZONI

**INTERSTELLAR: OS EFEITOS RELATIVÍSTICOS NA FICÇÃO
CIENTÍFICA**

MARINGÁ
2016

HENRIQUE SOBRINHO GHIZONI

**INTERSTELLAR: OS EFEITOS RELATIVÍSTICOS NA FICÇÃO
CIENTÍFICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni
Neves

MARINGÁ
2016

HENRIQUE SOBRINHO GHIZONI

INTERSTELLAR: OS EFEITOS RELATIVÍSTICOS NA FICÇÃO CIENTÍFICA

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciatura em Física.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves (Orientador)
(Universidade Estadual de Maringá-UEM)

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira
(Universidade Estadual de Maringá-UEM)

Prof. Dr. Daniel Gardelli
(Universidade Estadual de Maringá-UEM)

MARINGÁ
2016

*“Equidistantes dos átomos e das estrelas,
expandimos nosso horizonte exploratório
para alcançar o conhecimento tanto dos
fenômenos menores quanto dos maiores...”*

(Stephen W. Hawking)

Aos meus pais, por proporcionarem acesso a melhor educação moral e intelectual possível, dedico este trabalho com imensa gratidão.

AGRADECIMENTOS

Meu profundo agradecimento aos meus pais, João e Alexandra que sempre me deram suporte e incentivo ao estudo e nos demais fatores da minha vida, e aos meus familiares pelos conselhos e pelo apoio nas horas de dificuldade.

Ao meu orientador, Marcos Cesar Danhoni Neves, pelo conhecimento e pelas reflexões concedidas através deste trabalho e ao longo do curso, principalmente como professor orientador, tutor do grupo PET Física da Universidade Estadual de Maringá, programa o qual agradeço imensamente pela oportunidade de aprender muito além da tríade pesquisa, ensino e extensão, fornecendo uma base crucial para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, além de ter proporcionado amizades inestimáveis.

Aos meus colegas de curso pela ajuda acadêmica e pessoal, e aos meus professores de graduação pelo suporte intelectual e moral.

Aos meus amigos pelo incentivo, pelas risadas, pelas longas conversas nos momentos incertos e pelos melhores conselhos possíveis.

RESUMO

No presente trabalho, analisamos o filme de ficção científica *Interstellar*, lançado no ano de 2014, sob um ótica da astrofísica e com o intuito de examinar a veracidade dos efeitos relativísticos na ficção científica. Para embasar nossa análise teórica, fizemos um revisão bibliográfica baseada em livros-texto, artigos, documentários e filmes acerca de buracos negros, buracos de minhoca, relatividade especial, relatividade geral, métrica espacial e afins. Guiados por essa análise bibliográfica, e na posse de algumas cenas do filme onde são retratados esses efeitos relativísticos, verificamos que a presença do físico Kip Thorne na criação e produção do filme foi de extrema importância para um retrato sólido da ciência em *Interstellar*. Desta forma, esta análise também tem como objetivo incentivar a discussão do encontro arte-ciência nos âmbitos acadêmicos, escolares e sociais, de modo que a Física possa ser vista através de uma ótica mais próxima do cotidiano, e presente em diversos ramos da sociedade.

Palavras-chave: Interstellar, Astrofísica, Ficção Científica, Relatividade

ABSTRACT

In the present text, we analyze the science fiction film “Interstellar” exhibited in 2014, from the perspective of astrophysics and with the purpose of examining the relativity present in this cinematographic work. To support our theoretical analysis, we have made a review’s research based on different bibliographies: books, articles, documentaries and films about black holes, wormholes, special relativity, general relativity, spatial metrics and so on. Guided by this bibliographic analysis, and in possession of some scenes of the film where these relativistic effects are showed, we verified that the presence of the physicist Kip Thorne in the creation and production of the film. This fact had an extreme importance for a solid and credible report of the science in Interstellar. Thus, this analysis also aims to encourage the discussion of the art-science relation in the academic, school and social spheres so that physics can be seen from a perspective closer to everyday life, and present in different branches of society.

Key-words: Interstellar, Astrophysics, Science Fiction, Relativity

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	10
1.1 O encontro entre a Física e o Cinema ao longo dos anos.....	10
2. INTERSTELLAR: A ideia por trás do filme.....	14
2.1 Interstellar: o início	14
2.2 Interstellar: o desfecho.....	15
2.3 Os pilares da Física no filme.....	17
3. A FÍSICA DE INTERSTELLAR.....	20
3.1. O buraco negro	20
3.1.1 O buraco negro próximo a Saturno.....	20
3.1.2 Não é um buraco, é uma esfera.....	22
3.1.3 Endurance: atravessando o buraco de minhoca.....	23
3.2 O “olho” de Gargântua: a ciência por trás da simulação	28
3.2.1 As características de Gargântua.....	28
3.2.2 Simulando Gargântua.....	33
3.3 A ameaçadora natureza do planeta Miller.....	36
3.3.1 A maré gravitacional e as ondas gigantes.....	36
3.4 A viagem no tempo em <i>Intestellar</i>	38
3.4.1 Paradoxo dos Gêmeos versus <i>Interstellar</i>	38
3.4.2 A relatividade do tempo no planeta Miller.....	40
4.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1.INTRODUÇÃO

1.1 O encontro entre a Física e o Cinema ao longo dos anos

O encontro da Física com o Cinema é algo que desperta a atenção do público e da academia, tanto para a *hard physics*, quanto para seu uso instrumental no Ensino de Física. O encontro teve seu início no século XX, quando, no ano de 1902 foi lançado o primeiro filme de ficção científica: “*Le Voyage dans la Lune*”, dirigido por G. Méliès, inspirado nos livros de grandes escritores de ficção científica, especialmente Jules Verne. Apesar de ser um filme de curta duração (13 min.), mudo e em “preto e branco”, trouxe ao cinema as primeiras especulações referentes ao futuro da humanidade. Retrata uma viagem Terra-Lua por meio de um “projétil” como meio de locomoção, o que é claramente inspirado no livro “*Da Terra à Lua*” de Jules Verne. O filme aborda a surpresa dos humanos ao chegarem na Lua e se depararem com seres extraterrestres. Esta segunda parte é inspirada no livro “*Os primeiros homens na Lua*” de H.G. Wells.



Figura 1 – Cena do filme : “*Le Voyage dans la Lune*”



Figura 2 - À esquerda o meio de locomoção para a viagem Terra-Lua (Figura 2A) , e à direita o foguete russo *Proton-M*. (Figura 2B)

A Física está bastante presente no filme no modelo de transporte sugerido para a viagem: uma espécie de projétil balístico com capacidade de transportar passageiros em seu interior, e que é lançado por um canhão para o destino desejado. Apesar de parecer algo extremamente fora de cogitação, tem seu mérito devido à forma aerodinâmica do transporte, que inclusive serviu de inspiração para os modelos de foguete e naves espaciais, como é possível ver na Figura 2B, na imagem do foguete *Proton-M*.

Outro aspecto dos filmes que pode ser abordado pela ciência de forma geral e mais especificamente pela astrobiologia, é a vida fora da Terra retradada no filme, trazendo uma reflexão a respeito do encontro entre homem e seres extraterrestres. É possível ir além dos clichês envolvendo seres verdes e de aparência assustadora, e a vida fora da Terra pode ser intuída imaginando-se seres mais simples como bactérias e seres menos evoluídos.

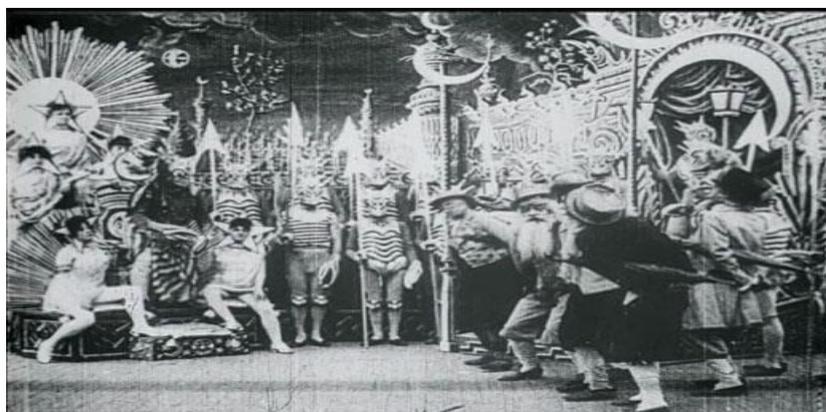


Figura 3 - O encontro entre os habitantes da Lua (ao centro) e os humanos à direita, retratado no filme de George Méliès.

A obra de Méliès, ao abordar a vida na Lua, tange de certa forma uma obra futura, *The Sentinel*, de Arthur C. Clarke, publicado no ano de 1951. O conto retrata a descoberta de um estranho objeto na Lua: um enigma deixado por uma civilização avançada antes mesmo da existência do primeiro ser vivo na Terra. O conto tem uma grande importância, pois serviu de inspiração para um dos maiores filmes de ficção científica de todos os tempos: “2001: A Space Odyssey” (Figura 4).



Figura 4 - Poster do filme “2001: uma odisséia no espaço”

O encontro arte-ciência se faz muito presente nesta obra de arte de Stanley Kubrick e Arthur C. Clarke, principalmente pela preocupação em retratar a ciência da maneira mais fiel possível. Consequentemente a obra gerou um grande impacto para o público, pois foi mostrada uma ficção científica mais “realista”, e, de forma mais acadêmica, uma possibilidade de tratar ficção com os parâmetros da ciência encerrada em nossos paradigmas.

Do ponto de vista artístico, é necessário citar a importância do diretor Stanley Kubrick no filme, que preza por uma obra estruturada nos “pequenos detalhes”, que vão desde a fotografia até a sonoplastia de seus trabalhos, que inclusive rendeu quatro indicações ao Oscar: melhor diretor, melhor direção de arte, melhores efeitos visuais e melhor roteiro original, sendo agraciado apenas com a categoria de melhores efeitos visuais... Uma injustiça histórica!

O filme “2001: Uma odisséia no espaço” apresenta diversos aspectos memoráveis para o retrato de um ficção científica conceitualmente mais sólida. A obra apresenta um viés futurista da sociedade, em que no início do século XXI os humanos já possuem a tecnologia necessária para grandes explorações tripuladas no nosso sistema solar, incluindo naves espaciais, comida desidratada, possibilidade de simular a aceleração gravitacional da Terra, sistema de inteligência artificial integrado nas espaçonaves (HAL 9000), computadores portáteis como *Tablets*, câmaras de hibernação para longos trajetos e afins.

Considerando que o filme foi lançado no ano de 1968, um ano antes do primeiro homem pisar na Lua, ele apresenta um riqueza de detalhes que serviu como inspiração para as tecnologias atuais, como: o uso de comida desidratada em missões espaciais, a invenção dos *Tablets*, a natureza do traje de um astronauta e a comunicação entre humanos e uma “inteligencia artificial” através de comandos de voz, como a *Siri* e o próprio Google Tradutor, inspirados no *HAL 9000* (aliás, a sigla H.A.L. vem da corruptela da gigante de computadores de época I.B.M. - uma letra antes de cada uma desta dá - H.A.L.).

A principal estação espacial do filme, *Space Station V*, além de apresentar toda a tecnologia citada acima, possui um design inteligente, um formato que chama bastante a atenção dos físicos devido à capacidade de simular a aceleração gravitacional da Terra no espaço, através da força centrípeta gerada pela rotação da estação em uma certa velocidade angular, que assume um valor necessário para gerar um aceleração gravitacional de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Imagem do interior da Space Station V: no centro um dos astronautas correndo normalmente devido a simulação da aceleração gravitacional, e, em ambos os lados do corredor, as câmaras de hibernação

2.INTERSTELLAR

2.1 *Interstellar*: o início

Na mesma vertente que os filmes expostos no primeiro capítulo deste trabalho, em 2014, *Interstellar* chegou aos cinemas e rapidamente atraiu a atenção de leigos e membros da academia pela alta fidelidade à ciência mostrada no filme. O segredo para o sucesso do filme parece ser infalível: um filme que contou com físicos, matemáticos, engenheiros e afins como consultores, além do ótimo trabalho da direção, produtores e artistas para ser elaborado e produzido da forma mais realista possível.

Uma das principais mentes envolvidas com a produção e criação do filme é a do físico Kip Thorne: um físico cujos trabalhos acadêmicos são voltados para a área de Astrofísica e Cosmologia, além de trabalhos em Física Teórica envolvendo a relatividade. Thorne, por meio de uma conversa inicialmente informal com uma amiga envolvida na produção de filmes, Linda Obst, levantou o assunto a respeito da grande quantidade de filmes de ficção que apresentavam potencial para levar ciência até o público, porém, falharam devido à falta de preocupação entre o encontro da realidade científica com o cinema, como relatado no primeiro capítulo do livro *The Science of Interstellar* (THORNE, 2014).

Desta forma, começaram a discutir elementos científicos, que associados a um bom roteiro, seriam capazes de impressionar o público e também trazer reflexões a respeito da Física, Astronomia e Cosmologia, e assim nasceu o “embrião” de *Interstellar*: a ideia de um filme de ficção científica que apresentasse uma ótica realista para os fenômenos científicos (nem que para isso fossem necessários “cálculos” relativísticos e simulações).

Após algum tempo de amadurecimento da ideia de fazer um filme de ficção científica mais real possível, Kip e Linda se reuniram para escrever o roteiro reduzido do filme, com objetivo de fazer o projeto inicialmente informal virar realidade. O roteiro reduzido do filme foi aprovado pelo estúdio *Warner Brothers Company* e o renomado diretor de filmes Steven Spielberg aceitou a direção do filme, porém,

algum tempo depois, devido a motivos legais entre ele a *Warner Bros.*, acabou saindo da direção. Após esse incidente, Linda e Kip ficaram receosos de que a ideia do filme fosse abandonada, entretanto, não desistiram do projeto e após vários emails e telefonemas, Christopher Nolan (Figura 6) aceitou não só dirigir o filme, como escrever e adaptar o roteiro juntamente com seu irmão Jonathan Nolan.



Figura 6 - Kip e Nolan conversando no set de gravação da nave *The Endurance*

2.2 *Interstellar*: o desfecho

O filme se passa em uma época onde, após uma série de catástrofes causadas pelo homem, o planeta Terra fica cada vez mais hostil, com menos elementos favoráveis à vida humana: os seres humanos correm o risco de não sobreviver a tais condições. Desta forma, umas das opções para que a raça humana não seja extinta é a de que ela se mude para outro local, opção explorada e projetada pelo personagem do físico e professor Dr. Brand, no filme. Este dirige a Missão *Lazarus*: a NASA havia enviado doze astronautas para doze planetas diferentes (além do sistema solar), com a intenção de buscar uma nova casa para os humanos. Anos depois, após a situação do planeta Terra ficar cada vez mais crítica, Dr. Brandon arquiteta uma nova missão com o intuito de resgatar os astronautas que obtiveram mais sucesso na Missão *Lazarus*, procurando um local com as condições mais propícias para a vida humana.

O personagem Dr. Cooper, ex-piloto da NASA, após decifrar coordenadas geográficas misteriosamente produzidas por uma anomalia gravitacional no quarto de sua filha (padrões na poeira depositada no chão do quarto), é levado até uma base secreta da NASA pelas coordenadas, e então recebe o convite de Dr. Brandon para pilotar a nave *Endurance*, levando os tripulante para o outro lado do Universo na procura de um novo lar para a espécie humana. E é este o contexto que nos traz a atenção: uma viagem espacial recheada de conceitos físicos e científicos através das cenas, incluindo fenômenos e eventos relativísticos como buracos negros, buracos de minhoca, viagem no tempo e afins.

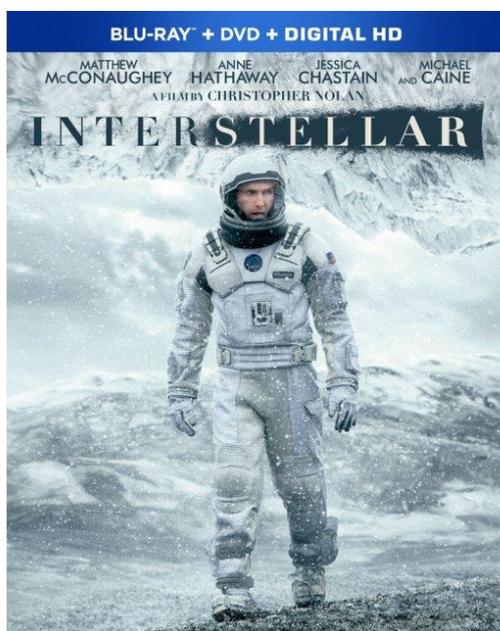


Figura 7 – Capa do bluray de *Interstellar*

Os filmes de ficção científica muitas vezes acabam despertando o nosso imaginário, e conseqüentemente nos faz refletir a respeito de certos aspectos retratados nos filmes, e com o filme *Interstellar* não é diferente. Ele nos lança diversos aspectos com um viés futurístico, que poderiam se encaixar em um período de tempo não tão longe assim.

O desfecho do filme, de uma maneira mais direta, diz respeito à sobrevivência da raça humana, onde os especialistas estão dispostos a fazer o que for necessário para que o ser humano não seja extinto do Universo, como, por exemplo, explorar

planetas com alta semelhança com a Terra para que possam abrigar a espécie humana. Desta forma, o desfecho tende a nos levar à reflexão: A espécie humana nasceu no planeta Terra, porém, seria possível a vida humana em outros locais do Universo?

2.3 Os pilares da Física no filme

A influência do físico Kip Thorne não foi apenas na criação do enredo do filme, mas também no rigor da Física presente nele. Ele estipulou algumas “regras” básicas ao relacionar o desfecho do filme com a Física, para que nada pudesse ser considerado um “absurdo científico”. Como relatado pelo próprio Thorne,

*[...] um mês depois, no dia 27 de março de 2006, tivemos nosso primeiro encontro com “Steven o Spielberg”, como eu costumava chamá-lo. Nos encontramos em uma sala de conferência no coração da sua empresa de produção de filmes, Amblin, em Burbank. Em nossa reunião eu sugeri ao Steven e à Lynda duas guias para a ciência de *Interstellar*:*

1. *Nada no filme deveria violar as leis bem estabelecidas da Física, ou conhecimentos bem estabelecidos sobre o Universo;*
2. *Especulações sobre as leis da Física e do Universo sempre serão provenientes da ciência real, com ideias que, ao menos alguns “respeitáveis” cientistas aprovem; [...] (THORNE, 2014, p. 12)*

Apesar da troca de diretores, as diretrizes científicas do filmes foram mantidas, proporcionando um longa compatível com os conhecimentos científicos de Astrofísica e da Teoria da Relatividade Restrita e Geral, área de pesquisa de Kip Thorne.

Alguns dos conceitos básicos para o filme necessitam ser apresentados antes de iniciarmos a análise da relatividade presente no filme *Interstellar*.

1º Postulado da Relatividade Especial: As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial, ou seja, não existe referencial inercial preferencial.

2º Postulado da Relatividade Especial: Princípio da constância da velocidade da luz

c , afirma que a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor constante c em todos os referenciais inerciais.

É importante ressaltar que a Teoria da Relatividade Especial não nos diz que tudo é relativo, como diz Isaacson (2008, p. 148):

[...] Ela não significa que tudo é subjetivo. Em vez disso ela diz que as medições do tempo, inclusive a duração e a simultaneidade, podem ser relativas, dependendo do movimento do observador. E que podem ser relativas as medições do espaço, como distância e comprimento. Mas existe uma união das duas, a que chamamos espaço tempo, e ela se mantém invariável em todos os sistemas inerciais. Da mesma forma, há coisas como a velocidade da luz que permanecem invariáveis.

Entretanto, vale ressaltar que, como consequência do primeiro postulado da relatividade especial, os referenciais não inerciais, aqueles que apresentam algum tipo de variação no sentido ou no módulo da velocidades não são contemplados com a Teoria da Relatividade Especial em 1905, mas apenas em 1915 com a teoria da Relatividade Geral.

De acordo com a definição de espaço tempo, surge também algumas propriedades métricas em relação ao seu comportamento como: dobrar, esticar, curvar de acordo com a presença de uma massa ou de um campo gravitacional, como diz Rohden (2012, p. 182):

[...] Segundo Einstein, a matéria cria este campo gravitacional provocando em torno de si uma distorção do que chamou de "contínuo espaço-tempo". Pode-se comparar esse fenômeno à deformação sofrida por um tapete de espuma de borracha sobre o qual se colocam objetos pesados [...]

Diferentemente do que Newton defendia através da métrica do espaço, um provável espaço absoluto, Einstein defendeu a ideia de que o espaço não só não é absoluto, pois depende do referencial em questão, como também sofre alteração em sua estrutura em certas condições, como na presença de uma massa ou de um campo gravitacional, como é possível observar na Figura 8.



Figura 8 – Uma analogia para retratar o espaço tempo de maneira bidimensional se distorcendo na presença de uma massa.

3. A FÍSICA DE INTERSTELLAR: UMA ANÁLISE RELATIVÍSTICA

3.1.1 “O buraco de minhoca próximo a Saturno”

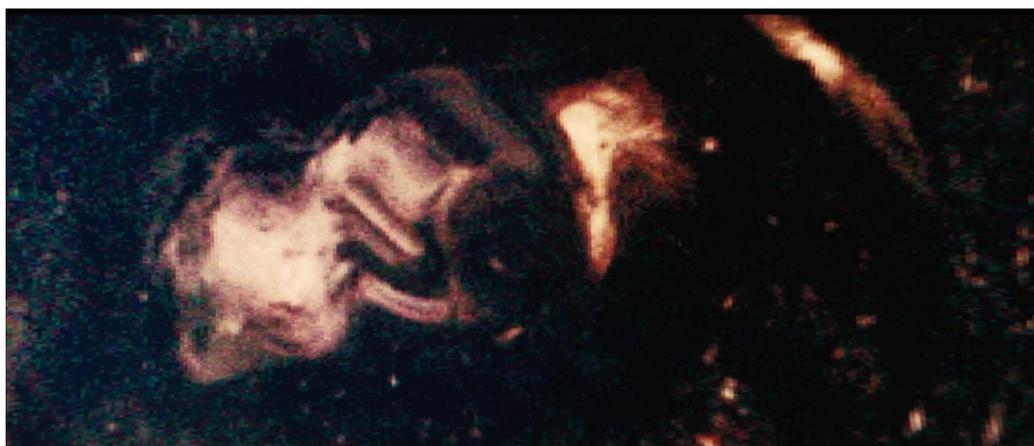


Figura 9 - Buraco de minhoca próximo a Saturno

“Mas de todas as anomalias gravitacionais, a mais importante é essa próxima de Saturno, uma disfunção no espaço tempo...”
(INTERSTELLAR,2014, 32min)

No filme, os cientista encontram uma anomalia gravitacional próxima à Saturno, anomalia caracterizada como *wormhole* ou “buraco de minhoca”, como mostra a Figura 9. A definição de buraco de minhoca (ponte Einstein-Rosen) de acordo com Thorne (1994, p. 484, tradução nossa) é:

[...] Buraco de minhoca é um atalho hipotético para viagem entre pontos distantes no Universo. O buraco de minhoca tem duas entradas, chamadas de “boca”, uma (por exemplo) próxima à Terra, e outra (por exemplo) em órbita ao redor de Vega, 26 anos luz além. As bocas são conectadas entre si por um túnel através do hiperespaço (buraco de minhoca) que teria apenas um quilômetro de distância. Se nós entrássemos na boca próxima à Terra, nós estaríamos no túnel. Viajando apenas um quilômetro através do túnel nós alcançaríamos a outra boca e emergeríamos próximo a Vega, 26 anos luz de distância no Universo externo.

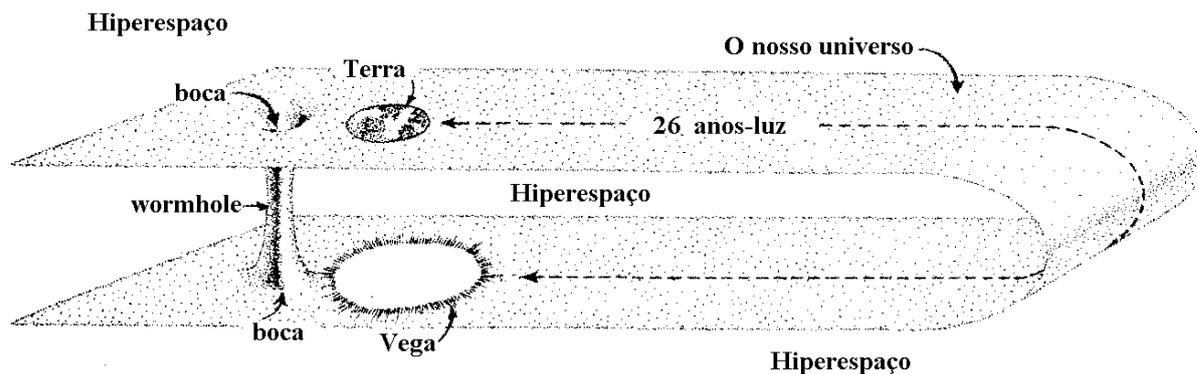


Figura 10 – Buraco de minhoca de um quilômetro, através do hiperespaço ligando a Terra à vizinhança da estrela Vega.

Entretanto, segundo diversos astrofísicos, a probabilidade de um buraco de minhoca ser formado por causa natural e continuar existindo por um longo período de tempo é muito baixa. A instabilidade dentro de um buraco de minhoca é muito alta, e assim, uma pequena quantidade de matéria ao entrar em contato com o *wormhole*, pode ser causa para o aniquilamento do mesmo, como vemos na explicação de Thorne (1994, p. 486, tradução nossa):

[...] O buraco de minhoca é criado em algum momento no tempo; abre-se brevemente, e então se fecha e desaparece – desta forma, sua vida é tão breve desde sua criação até seu fechamento que nada, nem ninguém (nem pessoas, nem radiação, nem sinais) podem viajar através dele, de uma boca à outra. Qualquer coisa que tente isto será pego e destruído pelo fechamento do buraco de minhoca.

Por outro lado, se o buraco de minhoca possui pequenas probabilidades de provir de causas naturais, e apresenta zero por cento de chance de ser uma ponte para outro local do Universo devido ao seus curtíssimo tempo de duração, poderia ele então ser “criado” por alguma espécie racionalmente superior como citado no filme pelo Dr. Brand? De acordo com Luminet (2015, pag.3, tradução nossa), seria possível:

[...] O buraco de minhoca próximo a Saturno foi criado artificialmente por uma civilização avançada, e colocado lá para ajudar a humanidade a escapar do sistema solar (no final do filme entendemos que aqueles alienígenas eram na verdade humanos avançados do futuro) ; eles criaram o buraco negro que está associado ao buraco de minhoca em primeiro lugar, manipulando o tempo e os eventos para que as coisas pudessem se desdobrar [...]

Claramente então caímos na concepção de que para a criação de um *wormhole*, seria necessário também a criação de um buraco negro, para que houvesse um equilíbrio na própria força gravitacional do mesmo, e portanto deixasse o buraco de minhoca estável. É interessante lembrar que assim que a filha do Dr. Cooper consegue desvendar os dados enviados pelo seu pai do futuro que se encontra dentro do *Gargântua*, ela consegue finalizar as equações do Dr. Brand e portanto ter acesso ao conhecimento de manipulação do tempo e dos eventos, incluindo a criação de buracos negros e buracos de minhoca.

3.1.2 “Não é um buraco , é uma esfera!”



Figura 11 - Romily explicando sobre buracos de minhoca, utilizando uma folha de papel dobrada furada por uma caneta

A cena inicia-se com Romily explicando para Cooper o porquê de um buraco de minhoca ser, na verdade, uma esfera e não apenas um círculo como normalmente é ilustrado em livros de Astronomia e Cosmologia (Interstellar, 2014, 58 min., tradução nossa):

Então as ilustrações transformam um espaço tridimensional em bidimensional, fazendo do buraco um círculo bidimensional. O que é um círculo em três dimensões? Exato, um buraco esférico.

Na Figura 11 percebe-se que à esquerda, Romily representa a distorção no espaço tempo (folha de papel), e à direita ele mostra a intersecção entre os dois pontos no espaço tempo, no caso interligados por um buraco de minhoca (caneta

atravessando as duas dobras do papel). Entretanto a representação da boca do buraco de minhoca feita por Romily foi feita em duas dimensões (um ponto em uma folha de papel), e não fica tão clara a representação tridimensional, até o momento em que a tripulação está frente a frente com o *wormhole*, nas proximidades de Saturno, como mostra a imagem abaixo:



Figura 12 – *The Endurance* próxima ao buraco de minhoca

A explicação de Romily se assemelha muito à explicação de Thorne (1994, p. 485, tradução nossa):

[...] No diagrama bidimensional do nosso universo a boca do buraco de minhoca é desenhada como um círculo, entretanto, para nosso Universo tridimensional, seria o análogo tridimensional ao círculo, uma esfera.

Desta forma, fica clara a influência de Kip nesta cena, devido à grande semelhança entre as explicações.

3.1.3 *Endurance: atravessando o buraco de minhoca*

O protagonista Cooper era um piloto experiente, de aviões de caça a ônibus espaciais, voando em diferentes condições de teste, porém nunca havia pilotado por

um trajeto que tivesse como destino final um atalho gravitacional do tipo *wormhole*. A falta de experiência na situação não impediu que o piloto executasse uma manobra em que atingisse uma órbita espiral e assim chegasse ao centro do buraco de minhoca, rumo a um outro lado do Universo, próximo a *Gargântua*. Por outro lado, assim que passaram por uma das superfícies do buraco de minhoca, logo percebeu a perda de controle da nave e dos sinais de comunicação. Um dos tripulantes diz a Cooper (*Interstellar*, 2014, 58 min):

“Os controles não funcionam aqui. Estamos atravessando o Bulk. Um espaço além das nossas três dimensões. Só nos resta registrar e observar.”

O *Bulk* por si só é uma região além do nosso espaço tridimensional, e não faz parte do nosso Universo. No caso de *Interstellar*, de acordo com Thorne (2014, pag. 50, tradução nossa):

[...] Como pode o espaço se “dobrar para baixo”? Sobre o que ele se dobra? Ele se dobra sobre um hiperespaço com maior estrutura dimensional, chamada de “bulk”, que não faz parte do nosso Universo [...] Quantas dimensões tem um bulk? [...] a propósito, em Interstellar o bulk tem apenas uma dimensão espacial extra: quatro dimensões espaciais ao todo.

Desta forma, só é possível passar de um universo para outro através da passagem pelo *bulk*. Ao passarem pelo buraco de minhoca eles acabam atravessando o *bulk* de maneira direta, pois a “garganta” do buraco de minhoca, região entre as suas duas bocas, é uma região do *bulk* por si só.



Figura 13 – Uma formiga refletindo sobre o seu *bulk* de recheio de maçã

Podemos tentar uma abordagem sem considerarmos a dimensão espacial extra do *bulk* de *Interstellar*. Se consideramos que a formiga ilustrada na Figura 13 gostaria de ir de uma parte da maçã à outra (como indicado em pontilhado), ela teria duas opções: contornar a superfície da maçã até chegar em seu local desejado, ou ir por dentro dela (uma região além da superfície) como em um buraco de minhoca. Se desconsiderarmos o acréscimo de dimensão, neste caso o *bulk*, seria o próprio recheio da maçã que a formiga precisa atravessar para chegar até seu local desejado.

Isso leva prontamente a uma das principais questões levantadas pelos astrofísicos: “O que acontece dentro de um buraco de minhoca? Seria possível pelos humanos, (animais limitados a três dimensões espaciais e uma dimensão temporal) detectar qualquer tipo de fenômeno ao atravessá-lo?”

Primeiramente, o buraco de minhoca necessita ter um tamanho razoavelmente grande para que um nave possa atravessá-lo sem encostar em suas paredes. Segundo Hawking, um buraco de minhoca possui uma estrutura bastante instável, e a única forma de manter seu “túnel”, caminho que liga uma boca a outra do *wormhole* aberto é através de alguma tecnologia que permita gerar uma força de repulsão entre as estruturas do *wormhole* para que ele não feche ou mesmo não entre em colapso. Atualmente não há indícios de qualquer tipo de tecnologia com este propósito, apesar de ser teoricamente possível. Desta forma, podemos inferir que, segundo o filme, os humanos do futuro já conseguiram ter acesso a tal tecnologia, com provável ligação entre as equações do professor Dr. Brand e de Murph, possibilitando a construção/criação de um buraco de minhoca próximo a Saturno.

Segundo o filme *Interstellar* seria sim possível ao homem detectar fenômenos ao longo do trajeto do buraco de minhoca, entretanto em um buraco de minhoca criado e mantido de maneira artificial como dito acima. O mais perceptível dentro da nave, porém, que tem sua causa ligada a outro fator, é a anomalia gravitacional, primeiramente notada pela Dra. Brand, que inclusive chega a ter a sua mão momentaneamente destorcida ao colocá-la perto da anomalia, como vemos abaixo:



Figura 14 - Deformação da mão da Dra. Brand devido à anomalia gravitacional dentro da nave, ao atravessarem um buraco de minhoca

A mão da Dra. Brand parece ser deformada em um padrão espiralado, uma espécie de vórtice gravitacional, devido, provavelmente, à presença de um campo gravitacional anômalo criado dentro da nave enquanto atravessaram uma região do buraco de minhoca. Nesta cena, a Dra. Brand chega a dizer que seria o primeiro aperto de mão com seres de outra dimensão, que posteriormente conclui-se que na verdade, era o Dr. Cooper, no futuro, tentando uma comunicação de dentro da singularidade de *Gargântua*, como afirma Thorne (2014, p. 308, tradução nossa):

“Ela pensa que tocou em um ser do bulk. Mas ela tocou na verdade em um ser passando rapidamente pelo bulk em um tesseract¹. Um exausto e velho Cooper.”

É interessante notar que a coexistência do Dr. Cooper do presente e do futuro na mesma cena apenas é possível devido ao fato de que no momento em que Cooper cai no centro de *Gargântua* ele tem acesso e controle a mais uma dimensão. Desta forma, a dimensão temporal passa a ser uma dimensão espacial para ele, possibilitando escolher qualquer evento presente na linha temporal do universo para “assistir”, seja no passado ou no presente.

¹ Hipercubo de quatro dimensões espaciais.



Figura 15 – Dr. Cooper tentando se comunicar com sua filha ainda jovem de dentro da singularidade de *Gargântua* .

Entretanto, a única forma de se comunicar com as pessoas presentes nos eventos passados ou até mesmo futuros é através de anomalias gravitacionais. A explicação se baseia na natureza da gravidade, sendo assim, algo que tem a capacidade de se mover entre as dimensões e, desta forma, entre o próprio tempo. Assim, a cada golpe que o Dr. Cooper dá nas estruturas presentes na singularidade, que podemos interpretar como sendo diversas “cordas do hiperespaço”, ele gera uma variação no campo gravitacional do evento em que ele observa.

Na Figura 16 conseguimos notar que Dr. Cooper não só consegue fazer alterações no campo gravitacional do evento observável como também consegue em algum padrão específico, onde fica claro então sua comunicação através do padrão de barras de poeira no chão do quarto ou mesmo no ponteiro do relógio de sua filha.



Figura 16 – Dr Cooper do futuro (à esquerda, de capacete branco) alterando o campo gravitacional do quarto de sua filha como forma de comunicação.

3.2 O “olho” de Gargântua, a ciência por trás da simulação

3.2.1 As características de Gargântua

O buraco negro retratado no filme não é obra do acaso; pelo contrário, nasceu de vários cálculos e simulações comandados principalmente por Kip Thorne. Sua massa, velocidade de rotação e sua aparência são algumas das variáveis que tiveram que ser discutidas entre Kip e Christopher Nolan para que o roteiro fosse compatível com as informações científicas do filme e vice e versa. Entretanto, antes de prosseguir é necessário pontuar a definição de um buraco negro. De acordo com Hawking (2009, p.111):

[..] Em 1916, o astrônomo Karl Schwarzschild encontrou uma solução para a teoria da relatividade de Einstein que representa um buraco negro esférico. O trabalho de Schwarzschild revelou uma espantosa consequência da relatividade geral. Ele mostrou que, se a massa de uma estrela estiver concentrada em uma região suficientemente pequena, o campo gravitacional na superfície estelar torna-se tão forte que nem mesmo a luz consegue mais escapar. Isso é o que agora denominamos um buraco negro, uma região do espaço tempo delimitada pelo assim chamado horizonte de eventos, da qual é impossível qualquer coisa, incluindo a luz, alcançar um

observador distante.

Na figura 18 é possível notar a representação do espaço tempo segundo a Teoria da Relatividade Geral de Einstein: a definição de uma métrica que sofre deformação de forma diretamente proporcional à massa. Entretanto, é preciso ter cautela, se considerarmos o centro de um buraco negro hipermassivo: a deformação do espaço-tempo tenderia ao infinito e, desta forma, teríamos uma singularidade, uma região do espaço onde a densidade de matéria seria tão grande que a teoria da relatividade não conseguiria prever sua natureza. Assim, seria necessário estudá-lo sob uma ótica quântica. Como disse Thorne (2014, pag.66, tradução nossa), a respeito de *Gargântua*:

[...] Para um grande buraco negro como o Gargântua de Interstellar, a física quântica é relevante apenas no centro, na sua singularidade. Então, se os buracos negros realmente existem em nosso universo, eles devem ter as propriedades ditadas pelas leis relativísticas [...]

É importante notar também que a Figura 17 diz respeito às prováveis origens de buracos negros. Desta forma, os *black holes* podem ter como origem o final da vida de uma estrela (estrela de nêutrons por exemplo), quando ela já consumiu todo o combustível que a mantém quente, e então, ela implode, pois não há mais a pressão exercida pelas radiações emitidas das reações nucleares (pois afinal não há mais combustível para tal) para contrabalancear com a força gravitacional da própria estrela, como diz Rohden (2012, p. 190):

[...] Ao fim da vida, a estrela já esgotou seu combustível termonuclear, estas reações se interrompem e a estrela desaba sobre si mesma pela força de sua própria gravidade. Por fim, a estrela que sofre esse “desabamento” gravitacional se estabiliza em uma fase de enorme condensação: seu volume é mínimo para um densidade e uma gravidade infinitamente grandes.

Se considerarmos um estrela esférica estática de massa M , podemos utilizar a métrica de Schwarzschild para relacionar a massa da estrela com o raio R_s do seu horizonte de eventos quando se tornar um buraco negro, como descrito na equação 1. Dos postulados da relatividade restrita sabe-se que nada viaja mais rápido que a luz, desta forma o raio de Schwarzschild é obtido considerando a velocidade de

escape como $c = 3 \times 10^8$ m/s, e onde G é a constante universal da gravitação e vale aproximadamente $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$.

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (1)$$

Se considerarmos o nosso Sol como exemplo (supondo que ele fosse estático e perfeitamente esférico), que possui uma massa de aproximadamente 10^{30} Kg, chegaremos que o raio do seu horizonte de evento teria apenas 3 quilômetros, caso o Sol implodisse hoje.

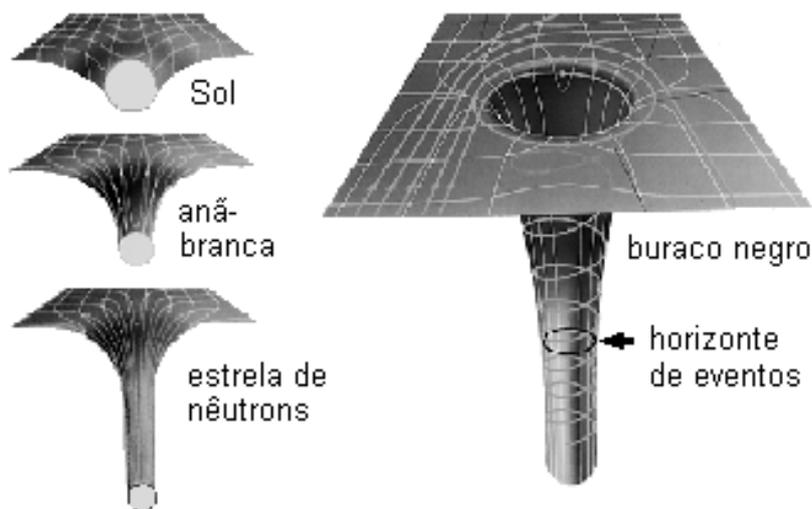


Figura 17 – Ao lado esquerdo a representação da distorção do espaço tempo *versus* a massa da estrela, quanto mais densa a estrela maior a deformação causada. Do lado direito encontramos a representação de um buraco negro no modelo da métrica relativística

As principais grandezas necessárias para podermos saber mais a respeito de um buraco negro são: massa da estrela origem ou do buraco negro e velocidade de rotação. No caso em que o *black hole* não possui rotação, utiliza-se a simetria de Schwarzschild, e no caso com velocidade de rotação maior que zero utiliza-se a métrica de Kerr. Em comparação com a equação (1), se tivermos um buraco negro de massa M em rotação, teremos que o raio do seu horizonte de eventos R_h será definido pela equação (2), onde J corresponde ao momento angular da estrela, R_s o raio de Schwarzschild e c e G são constantes internacionais:

$$R_h = \frac{R_s}{2} + \sqrt{\left(\frac{R_s}{2}\right)^2 - \left(\frac{J}{Mc}\right)^2} \quad (2)$$

A massa se relaciona diretamente com o tamanho do horizonte de eventos de um buraco negro, de tal forma que quanto maior a massa, maior o tamanho do horizonte de eventos, como notamos pela interpretação das equação (1) e (2).

Segundo Thorne (2014, p. 72), *Gargântua* apresenta uma massa de aproximadamente cem milhões de vezes maior que a do Sol, algo próximo de $1,98 \times 10^{38}$ kg e um horizonte de eventos de um bilhão de quilômetros (valor dez vezes maior que a distância da Terra ao Sol). Sua rotação é extremamente alta, algo próximo a uma parte sobre cem trilhões a menos que a velocidade da luz, aproximadamente 99,9 % da velocidade máxima permitida pela relatividade. Desta maneira, a métrica adotada para compreender *Gargântua* é a de Kerr, devido à sua alta velocidade de rotação. Se analisarmos a relação entre a massa M e o módulo do momento angular J da estrela na equação (2), veremos que são grandezas inversamente proporcionais e que no caso de estrelas hipermassivas, estas tenderão a ter seu momento angular reduzido, estipulando assim uma velocidade limite para o buraco negro de acordo com sua massa.



Figura 18 – Visão de *Gargântua*

Apesar do nome ser buraco negro, o *Gargântua* possui uma região onde percebe-se uma alta quantidade de “fótons capturados”, formando uma espécie de anel luminoso ao redor do buraco negro. Isto acontece devido a fótons que são atraídos

pelo buraco negro, porém que não são “engolidos” no primeiro instante: situam-se numa região exterior ao horizonte de eventos, fazendo com que entrem em rotação ao redor de *Gargântua* (Figuras 19 e 20) antes de serem finalmente atraídos pelo buraco negro, como podemos ver no livro de Kip Thorne (2014, p. 76, tradução nossa):

[...] A gravidade é tão forte próximo ao Gargântua, e o espaço e o tempo são tão deformados, que a luz (fótons) pode ficar presa em órbitas fora do horizonte, viajando em volta do buraco várias e várias vezes antes de ser engolida[...] Eu gosto de chamar essa luz presa em órbita de “concha de fogo”. Essa concha de fogo tem um papel importante nas simulações gráficas, dando base à aparência visual de Gargântua.[...]

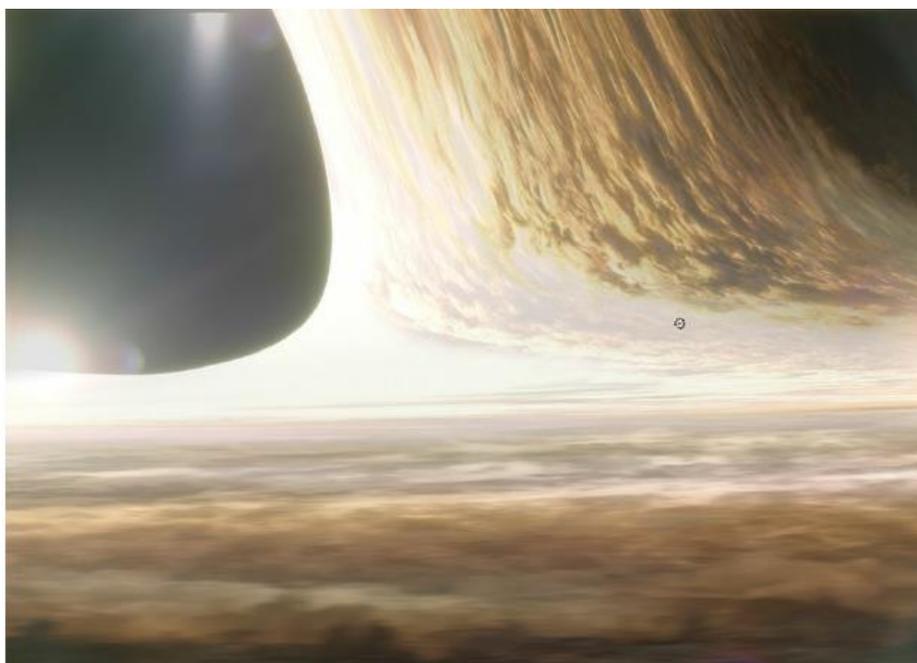


Figura 19 – Um close em *Gargântua*, a parte negra corresponde ao buraco e em volta é possível ver o “anel de fótons” em volta do buraco negro, ou a “concha de fogo”.

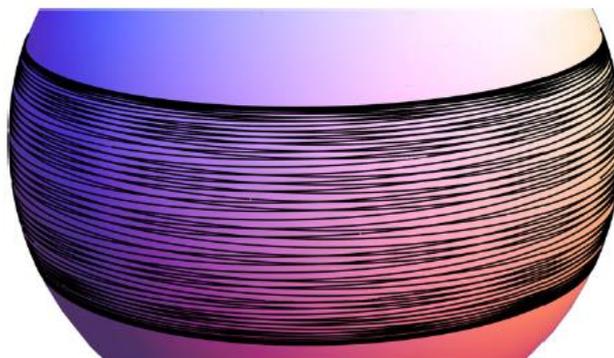


Figura 20 – O anel de fótons, ou concha de fogo ao redor do horizonte de eventos de um buraco negro. Simulação desenvolvida a partir das equações relativísticas de Einstein.

3.2.2 Simulando Gargântua

Aparentemente não há nenhum indício de algum buraco negro próximo ao planeta Terra ao ponto de vislumbramos o fenômeno com a ajuda de um telescópio. Desta forma não temos nenhuma “foto” de um buraco negro até o momento. O que se tem são dados de regiões do espaço que se comportam de maneira semelhante ao que foi teoricamente atribuído aos buracos negros, porém ainda não se tem conhecimento exato de sua natureza. Diversos fatores podem influenciar na aparência de um *black hole*, como os gases constituintes da estrela que lhe deu origem, sua massa e sua “vizinhança”.

No caso de *Gargântua*, o diretor Christopher Nolan queria que buraco negro hiper massivo fosse retratado no filme da maneira mais real possível, fazendo com que Thorne juntamente com a empresa *Double Negative*, desenvolvessem graficamente o *Gargântua* através de simulações de alta qualidade.

As simulações se basearam no princípio da sobreposição de imagens geradas pelos softwares de criação gráfica, DNGR, *Double Negative Gravitational Renderer*, um renderizador gravitacional da empresa de efeitos visuais. As características de *Gargântua*, como todo o ambiente a ser simulado, foi produto da resolução de algumas equações desenvolvidas por Thorne que descrevem as características do buraco negro como: sua velocidade de rotação, o tamanho de seu horizonte de eventos, sua massa, as dimensões do disco de matéria ou *accretion disk* localizados ao redor de sua borda, a angulação utilizada para simular a captura de uma câmera

no local e afins.

Entretanto, se um buraco negro não emite luz de maneira direta, como ele pode ser retratado visualmente? De acordo com Thorne (2014, pag. 88, tradução nossa) :

[...] Buracos negros não emitem luz, então a única forma de ver Gargântua é através da influência na luz de outros objetos. Em Interstellar, os outros objetos são um disco de matéria (accretion disk) e a galáxia na qual o buraco se encontra, que possui nebulosas e um vasto campo de estrelas [...]

Isso é válido de acordo com a Teoria da Relatividade Geral, pois uma massa ao distorcer o espaço-tempo ao seu redor acaba implicando diretamente na “dobra” de um raio de luz. Assim, quanto maior a massa de um objeto, maior a distorção do raio de luz em sua proximidade. Como sabe-se que *Gargântua* é um buraco negro hipermassivo, a luz proveniente de outras estrelas tende a se distorcer com uma intensidade considerável. E desta forma, como diz Thorne (2014, p. 88, tradução nossa), temos o efeito da lente gravitacional:

“Gargântua lança uma sombra negra no campo das estrelas, e também desvia os raios de luz provenientes de cada estrela, distorcendo o padrão estelar visto pela câmera. Esta distorção é a lente gravitacional...”

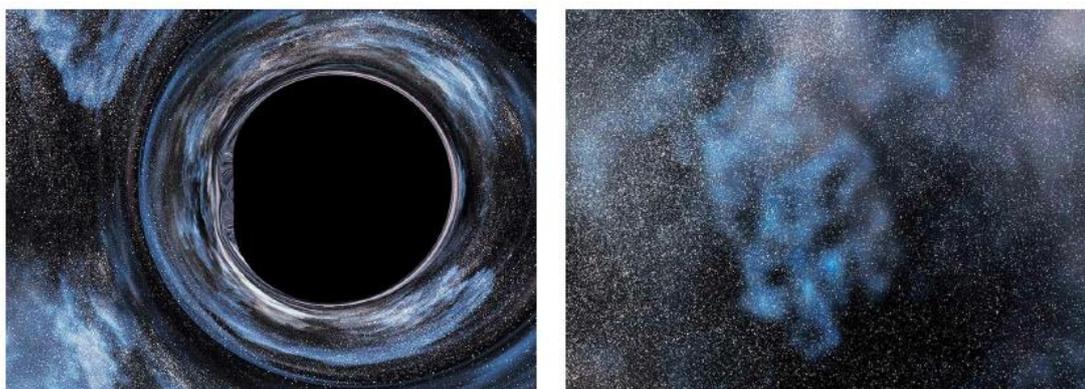


Figura 21 – Na figura do lado direito temos um campo de estrelas, e na figura do lado esquerdo temos um buraco negro com alta velocidade de rotação em frente ao mesmo campo de estrelas, formando uma lente gravitacional.

A lente gravitacional é o primeiro elemento incorporado na simulação de *Gargântua*, e é ligado diretamente à massa do objeto. Quanto maior a massa, maior será o desvio da trajetória dos raios de luz que chegarem até o objeto. O segundo elemento essencial para a simulação de *Gargântua* é o disco de matéria ao seu

redor, ou *accretion disk*, localizado no plano equatorial do buraco negro. O *accretion disk* neste caso é formado por gases e emite fótons como resultado da fricção entre as partículas dos gases, que colidem entre si ao serem atraídas por *Gargântua*, uma característica dos buracos negros, como diz Rohden (2012, p. 190):

“Quando estes gases penetram em espiral no buraco negro, são esquentados e comprimidos, emitindo raio-x [...].”

Na verdade, neste fenômeno, há a emissão de energia de diversas maneiras e diversas frequências, sendo raio-x é uma delas, e se considerarmos um espectro visível, a luz visível também é uma delas, apresentando uma cor característica de acordo com a frequência de emissão de cada elemento constituinte dos gases do *accretion disk*. Desta forma é como se o disco de matéria, constituído de gases neste caso, deixasse um rastro de luz próximo à região equatorial de *Gargântua*, formando a “concha de fogo”, ou “*shell of fire*”, como já citado no capítulo anterior.



Figura 22 - Resultado de uma simulação de Gargântua , incluindo o discos de matéria e a lente gravitacional.

É possível notar na Figura 22 que a região do disco de matéria vai além do plano equatorial do buraco negro, dando a impressão de “uma concha de luz” ao redor de Gargântua. Isto se dá devido à angulação e a distância escolhida para simular a câmera que filmaria *Gargântua* frente a frente (Figura 23).

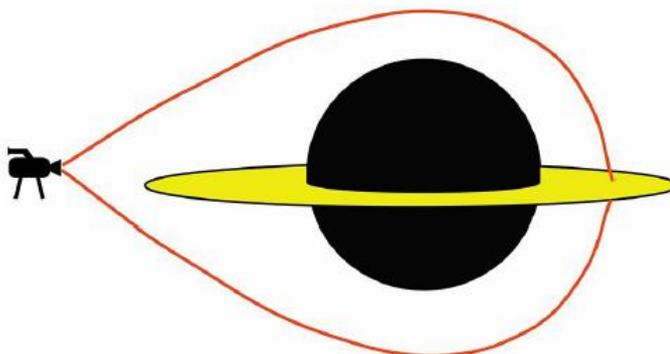


Figura 23 - A localização da câmera na simulação de *Gargântua* não permite enquadrar todo o disco de matéria (em amarelo) ao redor de seu exterior devido à trajetória dos raios de luz (em vermelho).

3.3 A ameaçadora natureza do planeta Miller

3.3.1 A maré gravitacional e as ondas gigantes

O planeta Miller, como nota-se em *Interstellar*, possui uma característica um tanto quanto incomum se comparado a planetas do nosso sistema solar, sua localização é muito próxima ao buraco negro *Gargântua*, e mesmo assim possui uma órbita estável.

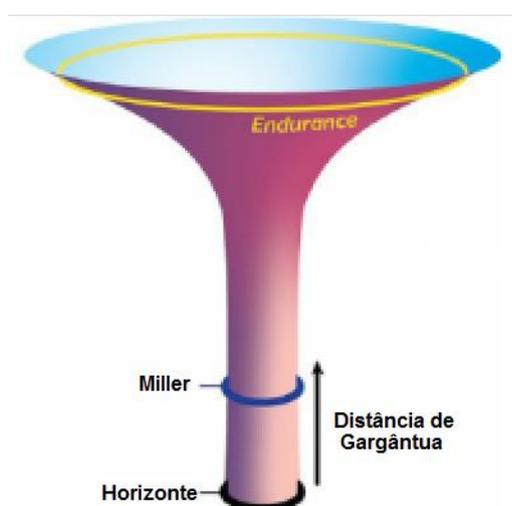


Figura 24 – A linha amarela representa a órbita na nave *Endurance* ao redor de *Gargântua*; a linha azul representa a órbita do planeta *Miller* ao redor de *Gargântua*, e a linha preta o horizonte de eventos do buraco negro.

Assim que os tripulantes da nave *Ranger* se deparam com a natureza do planeta *Miller* no filme, é possível notar a tranquila e vasta superfície aquática do planeta.

Porém, em poucos minutos esta imagem aparentemente plácida se transforma em um cenário extremamente ameaçador devido a ondas gigantescas de até 1,2 quilômetros de altura (Figura 25). Qual seria a causa de tamanha mudança?



Figura 25 - A nave *Ranger* próxima a uma onda gigantesca no planeta *Miller*.

De acordo com THORNE (2014, p. 180),

“a explicação para as ondas gigantes, na minha interpretação científica, é devido à agitação do oceano, conforme o planeta balança sob a influência da maré gravitacional de Gargântua.”

Desta forma podemos ver que uma das prováveis causas para as ondas gigantescas no planeta Miller, está ligada diretamente à maré gravitacional sofrida pelo mesmo. Como a sua órbita é muito próxima ao próprio horizonte de eventos de *Gargântua*, que possui um campo gravitacional altíssimo, o planeta tende a se “esticar” como resultado entre o “cabo de guerra” entre a força centrífuga do planeta e a força gravitacional de *Gargântua* sobre o planeta, como vemos na Figura 26.

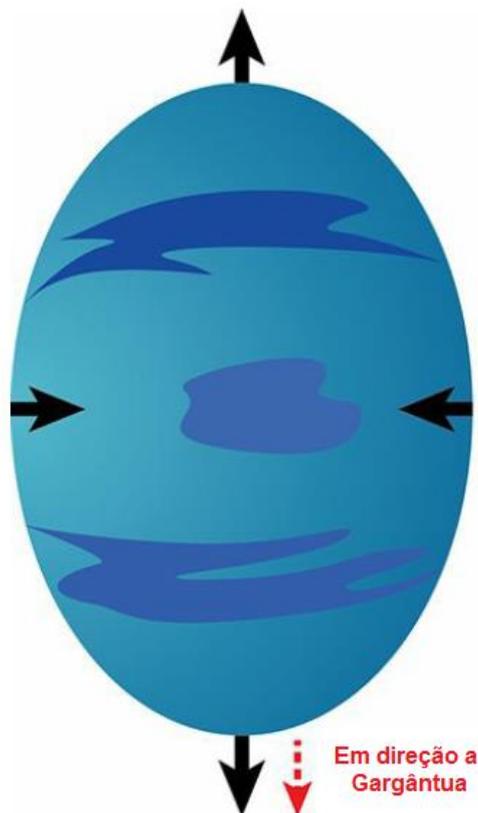


Figura 26 – Uma representação do planeta Miller onde é possível notar a sua deformação devido o “cabo de guerra” de forças, representado pelas setas no desenho.

Como o planeta se deforma devido às forças que atuam sobre ele, as águas do planeta também sofrem efeitos, e desta forma, acabam fazendo com que o planeta entre num estado de balanceio, ou de um oscilador. Assim, as “massas” de água do planeta se locomovem de uma região para o outra influenciadas pela força desse balanço, gerando megatsunamis com ondas atingindo quilômetros de altura.

3.4 A viagem no tempo em *Interstellar*

3.4.1 *Paradoxo dos Gêmeos versus Interstellar*

O desejo de viagem no tempo é algo que sempre foi bastante discutido na ficção científica e na Academia, principalmente por sua íntima relação com a relatividade. O encontro do cinema com o tema “viagem no tempo” foi muito marcado pela trilogia “De volta para o futuro” (Figura 27), que explora as possibilidades e consequências

da viagem no tempo.

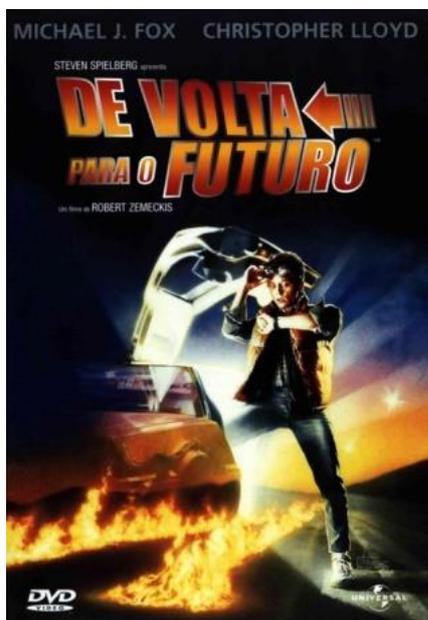


Figura 27 - Capa do DVD do filme “De Volta para o Futuro”.

O filme *Interstellar* está diretamente relacionado com temas relativísticos, e desta forma não poderia deixar de retratar o tema viagem no tempo. Utilizando seus conhecimentos de astrofísica e física teórica, Kip Thorne conseguiu reproduzir um ciência sólida mesmo em um tema tão aberto para especulações.

A relatividade especial assegura que não existe uma medida absoluta de tempo ou de espaço. Desta forma, as medidas obtidas são consequências diretas da escolha do referencial do observador e do evento. Como visto no capítulo anterior, quanto maior a massa de um objeto, maior a dobra que ele causa no espaço tempo. Assim, temos uma implicação direta da massa de um objeto com a percepção do tempo próximo a ele, como diz Thorne (2014, p. 45, tradução nossa):

[...] Quanto mais devagar o tempo “passa”, maior é a força gravitacional [...]. Na superfície de um buraco negro o tempo “passa” tão devagar que praticamente para: é onde a gravidade é tão forte que nada pode escapar, nem mesmo a luz.[...]. Essa desaceleração do tempo próximo a um buraco negro tem um papel importante em Interstellar. Cooper se desespera com medo de nunca mais ver sua filha Murph novamente, devido a sua viagem próximo a Gargântua, pois ele envelhece apenas algumas horas, enquanto Murph, na Terra envelhece quase oito décadas.

Assim que Cooper é encontrado e levado até a estação Cooper, próximo a Saturno, ele recebe a notícia de que apesar de sua aparência parecer com a de um adulto de meia idade, ele já possui 124 anos. E desta forma presencia algo incomum: ver sua filha já com aproximadamente 90 anos falecendo por causas naturais, enquanto ele ainda aparenta uma idade muito próxima de quando saiu do planeta Terra rumo à *Gargântua* (figura 29). Neste ponto, como diz Willmusen (2015, 13 min.):

“A teoria da reatividade é fascinante, mas torna-se muito emotiva quando falamos da distância entre pessoas.”



Figura 28 – À direita, Cooper com 124 anos, e à esquerda sua filha Murph, com aproximadamente nove décadas de vida.

3.4.2 A relatividade do tempo no planeta Miller

Como salientado no capítulo anterior, o horizonte de eventos de um buraco negro, por definição, é um local onde a força gravitacional é tão forte que nem mesmo a luz pode escapar. Na Figura 24 percebemos que a distância entre o planeta Miller e o horizonte de eventos de *Gargântua* não é muito grande, levando-nos a concluir que a força gravitacional próximo à região de Miller é extremamente alta, causando uma desaceleração no tempo, como diz Thorne (2014, p. 174, tradução nossa):

*[...] O tempo se desacelera próximo a *Gargântua*, e a desaceleração torna-se ainda mais extrema quando chegamos próximo ao seu horizonte de eventos. Portanto, de acordo com as leis de deformação do tempo de Einstein, a gravidade se torna extremamente forte quanto mais nos aproximamos do horizonte [...]*

Desta forma, devido à proximidade do planeta Miller com o horizonte de eventos de *Gargântua*, o planeta possui uma desaceleração temporal muito perto do limite permitido: uma hora no planeta Miller equivale a sete anos na Terra.

Uma das formas de perceber o quão devagar o tempo passa no planeta Miller em relação à Terra, é analisando a cena após a viagem até o planeta Miller. Nesta cena, a Dra. Brand explica para Cooper que as peças da nave do Dr. Miller não tinham nenhuma deteriorização causada pela água, pois a nave tinha sido destruída minutos antes da chegada da nave *Ranger*. Ou seja, apenas algumas horas separaram a chegada de Miller e da nave *Ranger* no mesmo planeta.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ficção científica, desde sua aparição no cinema, tende a trazer diversos aspectos e situações consideradas como futurísticas, provenientes muitas vezes de especulações sem qualquer tipo de conhecimento científico para servir como embasamento. Entretanto, é importante notar que o encontro da Física com o cinema, desde seu primórdio, em “Viagem à Lua” é marcado por uma preocupação científica tanto com objetivo de proporcionar um conteúdo mais realista à obra como também se constitui numa forma apropriada para divulgar debates entre a Academia e a sociedade, com um viés até de divulgação científica.

O filme *Interstellar*, por si só, apresenta um grande diferencial em relação aos filmes *blockbuster* de sua categoria: contou com a presença de um físico desde o processo de criação até a produção do filme, Kip Thorne, cuja a área de trabalho ao longo de sua vida acadêmica tem sido assuntos ligados à Astrofísica e às teorias einstenianas, que são excepcionalmente exploradas no filme.

Concluimos que, de acordo com a análise de algumas cenas escolhidas no filme *Interstellar*, onde é possível notar uma forte presença dos conceitos relativísticos, a maioria das cenas tem um embasamento direto em livros texto, em artigos e materiais acadêmicos que retratam tais fenômenos, inclusive o físico Kip Thorne possui notório respeito na área, em patamar muito semelhante a Stephen Hawking, mundialmente conhecido pelos estudos acerca de buracos negros, viagens no tempo e afins.

Esperamos que com este trabalho o encontro arte-ciência envolvendo Física, em especial efeitos relativísticos e do ramo da Astrofísica, e Cinema, neste caso em especial no gênero de ficção científica, seja amplamente discutido em níveis acadêmicos, escolares e sociais, a ponto de que a ciência presente no filme possa ser um ponto de partida para a quebra de paradigma de que Física é algo de difícil compreensão, demasiadamente numérica e distante do “mundo real”.

REFERÊNCIAS

Livros e filmes

2001: UMA ODISSEIA NO ESPAÇO. Dirigido por Stanley Kubrick. Distribuído por Warner Bros. 2001. DVD.son., cor. Legendado. Port.

EINSTEIN, A. **The Meaning of Relativity.** Princeton: Princeton University Press, 1988.

HAWKING, S. **O Universo Numa casca de Noz.** Rio de Janeiro, RJ: Nova Fronteira, 2009.

HAWKING, S. **Uma breve história do tempo: do big bang aos buracos negros.** Rio de Janeiro: Rocco, 1989.

INTERSTELLAR. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,cor. Legendado. Port.

ISAACSON, W.. **Einstein:** sua vida, seu universo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

JAMES, O.;TRUZELMANN E.;FRANKLIN, P.; THORNE K. **Gravitational lensing by spinning black holes in Astrophysics, and in the movie Interstellar.** Pasadena, 2015

LUMINET, J. P. **The Warped Science of Interstellar.** Marseille, 2015.

ROHDEN, H. **Einstein:** O Enigma do Universo. 3ª edição. São Paulo SP: Martin Claret , 2012.

RUSSELL, B. (2005), **ABC da Relatividade.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar. Trad. M.L.X.A. Borges. Orig. em inglês: 1925

THORNE, K. **Black Holes and Time Warps**. W. W. Norton & Company, 1994.

THORNE, K. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014.

WILLUMSEN, G. **The Science of Interstellar**, 13 min, 2015.

Figuras

Figura 1, retirada de <https://goo.gl/JfQ16o>, acessado em 16 de novembro de 2016 às 15h15min.

Figura 2A, retirada do filme “Le voyage dans la lune”, dirigido por George Méliès, 1902.

Figura 2B, <https://cdnbr1.img.sputniknews.com/images/169/79/1697978.jpg>, acessado no dia 17 de novembro de 2016 às 16h04min.

Figura 3, retirada do filme “Le voyage dans la lune”, dirigido por George Méliès, 1902.

Figura 4, retirada de <https://goo.gl/iUhC3m>, acessado em 16 de novembro de 2016 às 15h15min.

Figura 5, retirada de <https://filmgrab.files.wordpress.com/2010/07/26-running-away1.png>, acessado 15 de dezembro às 20h20min.

Figura 6, retirada do livro THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 17, figura 1.2.

Figura 7, retirada de <http://s.pacn.ws/640/m6/interstellar-bluray-dvd-digital-copy-ultraviolet-399185.1.jpg?o3nfpe>, acessado em 19 de dezembro de 2016 às 15h39min.

Figura 8, retirada de <http://eastpdxnews.com/images/100709/3-3-Einstein.jpg>, acessado em 23 de dezembro de 2016 às 0h30min.

Figura 9, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 32 min.

Figura 10, retirada de <http://www.oal.ul.pt/oobservatorio/vol6/n8/image3.gif>, acessado em 11/11/2016 às 12h43min.

Figura 11, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 58 min.

Figura 12, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 59 min.

Figura 13, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 140, figura 14.1.

Figura 14, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 61 min.

Figura 15, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 142 min.

Figura 16, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 150 min.

Figura 17, retirada de <https://goo.gl/D5Aj0Y>, acessado no dia 19 de dezembro de 2016 às 17h21min.

Figura 18, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuído por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son.,Cor. Legendado. Port. 150 min.

Figura 19, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 115, figura 9.11.

Figura 20, retirada de JAMES, O.;TRUZELMANN E.;FRANKLIN, P.; THORNE K. **Gravitational lensing by spinning black holes in Astrophysics, and in the movie Interstellar**.Pasadena, 2015, pag 18, Figura 11.

Figura 21, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 65, figura 5.6.

Figura 22, retirada de JAMES, O.;TRUZELMANN E.;FRANKLIN, P.; THORNE K. **Gravitational lensing by spinning black holes in Astrophysics, and in the movie Interstellar**.Pasadena, 2015. Pagina 22, figura 14

Figura 23, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 112, figura 9.8.

Figura 24, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 174, figura 17.1.

Figura 25, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 179, figura 17.5

Figura 26, retirada de THORNE, Kip. **The science of Interstellar**. W. W. Norton & Company, 2014. Pagina 176, figura 17.3

Da figura 27, <http://cartunistasolda.com.br/wp-content/uploads/2015/06/Capa-de-volta-para-o-futuro.jpg>, acessado dia 15 de dezembro de 2016 às 20h52min.

Figura 28, retirada de **INTERSTELLAR**. Produção de Emma Thomas e Lynda Obst. Distribuido por Warner Bros. 2014. Blu-ray: son., Cor. Legendado. Port. 160 min.