



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

EDUARDO MOREIRA LUSTOSA

A META INDUÇÃO OTIMISTA: UMA EXPLICAÇÃO REALISTA PARA O
PROGRESSO CIENTÍFICO

CUIABÁ (MT)

AGOSTO 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

EDUARDO MOREIRA LUSTOSA

A META INDUÇÃO OTIMISTA: UMA EXPLICAÇÃO REALISTA PARA O
PROGRESSO CIENTÍFICO

Dissertação apresentada à banca examinadora da
Universidade Federal de Mato Grosso como requisito para
obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Orientador: Luiz Paulo da Cas Cichoski

CUIABÁ (MT)

AGOSTO 2021

EDUARDO MOREIRA LUSTOSA

A META INDUÇÃO OTIMISTA: UMA EXPLICAÇÃO REALISTA PARA O
PROGRESSO CIENTÍFICO

Dissertação apresentada à banca examinadora da
Universidade Federal de Mato Grosso como requisito para
obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Aprovado em:

_____ / /

Professor Doutor Luiz Paulo da Cas Cichoski (orientador)

Universidade Federal de Mato Grosso

_____ / /

_____ / /

Dedico esta modesta dissertação às mentes inquietas de homens e mulheres que dividiram com o mundo suas ideias e, especialmente, àqueles cujas teorias ou conceitos foram, direta ou indiretamente, usados aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao prof. dr. Luiz Paulo da Cas Cichoski, orientador deste trabalho, pelas correções, acréscimos, *insights*, paciência e, sobretudo, pelas muitas horas de conversa instigante e edificante. Tenha de mim, imorredoura gratidão e tenha em mim, um amigo leal. Agradeço também ao colega de mestrado Fábio Lázaro Queiroz, à prof.^a dr.^a Beatriz Sorrentino Marques, ao prof. dr. Thiago Andrade de Toledo e ao prof. dr. Bernardo Gonçalves Alonso pelas inúmeras contribuições, em grande medida, incorporadas ao texto.

“Escribir es fácil: se empieza con una letra mayúscula y se termina con un punto final. En el medio colocan se las ideas”.

(Pablo Neruda)

RESUMO

Este trabalho é uma defesa da meta indução otimista, isto é, a crença que teorias científicas tendem a ficar melhores ao longo do tempo. É também uma defesa do realismo científico, ou seja, a suposição de que as melhores teorias científicas de hoje são aproximadamente verdadeiras em suas descrições e explicações sobre o mundo. Assim, desde o começo as cartas estão sobre a mesa. Ao longo da dissertação, tentaremos justificar nossa adoção às teorias da meta indução otimista e do realismo científico com estudos da melhor doutrina especializada e com exemplos práticos da ciência atual e da história da ciência. Será especialmente elucidativo o estudo do caso paradigmático da teoria dos buracos negros, desde o seu surgimento, como um desdobramento da Teoria da Relatividade Geral, quase como mera excentricidade matemática, até a sua confirmação empírica, por fotografia, mais de cem anos depois. Na sequência, na parte talvez mais original do nosso estudo, demonstraremos que ciência e tecnologia já foram campos pouco permeáveis entre si, mas desde o século XX, a interação é constante, trazendo progressos para ambas áreas. Ao final, coerente com nossa concepção realista da ciência, defenderemos que mesmo entes (ainda) inobserváveis - ou por outra, cuja tecnologia existente não permite a observação direta - descritos pelas melhores teorias atuais são reais e as suas explicações são aproximadamente verdadeiras. Palavras-chave: realismo científico; meta indução otimista; progresso científico.

ABSTRACT

This work is a defense of the optimistic meta induction, that is, the belief that scientific theories tend to get better over time. It is also a defense of scientific realism, *i.e.*, the theory that the best scientific theories of today are approximately true in their descriptions and explanations of the world. So, from the beginning, the cards are on the table. Throughout the dissertation, we will try to justify our adoption to the theories of optimistic meta induction and scientific realism by the studies of the best scholars of the matter and with practical examples from current science and from the history of science. The study of the paradigmatic case of the theory of black holes will be especially enlightening, since its emergence, unfolding from the General Theory of Relativity, almost as a mere mathematical eccentricity, until its empirical confirmation, through photography, more than one hundred years later. In the sequence, in perhaps the most original part of our study, we will demonstrate that science and technology were once fields that were not very communicating to each other, but since the 20th century, the interaction has been constant, bringing progress to both areas. In the end, consistent with our realistic conception of science, we will defend that even (still) unobservable entities - namely, objects that cannot be observed by current technology - described by the best present theories are real and their explanations are approximately true. Keywords: scientific realism; optimistic meta induction; scientific progress.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO	16
3. A META INDUÇÃO OTIMISTA	24
3.1. Introdução do Capítulo	24
3.1.1. Sobre o que vamos falar?	24
3.1.2. O que pretendemos demonstrar com isso?	26
3.1.3. Porque há dúvida sobre o progresso da ciência?	27
3.2. O Realismo Científico	31
3.2.1. O que é o Método Científico?	31
3.2.2. O que são Teorias Científicas?	36
3.2.3. O que é Conhecimento Científico?	38
3.3. O Argumento do (Não) Milagre de Putnam	40
3.3.1. A ciência é um sucesso	44
3.3.2. A ciência não é um sucesso por acaso	46
3.3.3. Doutrinas realistas são as únicas que oferecem uma descrição adequada da ciência e de como suas melhores teorias são um sucesso	47
3.3.4. Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência	47
3.3.5. Os ramos das ciências amadurecem	52
3.3.6. Teorias aceitas pela comunidade são aproximadamente verdadeiras	53
3.3.7. Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo	57
3.4. A Seleção Pelas Melhores Teorias	61
3.4.1. O que significa ter melhor poder explicativo?	63
3.4.1.1. A busca por explicações mais simples	64
3.4.1.2. A Navalha de Ockham	68
3.4.1.3. Explicações mais abrangentes e conexão entre fenômenos	70
3.4.2. O que significa ter maior poder preditivo?	74
3.4.2.1. E as probabilidades?	81
3.4.2.2. Dificuldades adicionais em confirmação empírica	84
3.4.3. A busca por melhores medições	86
3.4.4. Potencial gerador de tecnologia	88
3.5. As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras	93
3.5.1. Adequação empírica ou aproximação da verdade?	96
4. O PAPEL DA TECNOLOGIA	100
4.1. A Colaboração Entre Ciência e Tecnologia	103
4.2. O Papel da Tecnologia Para a Meta Indução Otimista	106
4.3. Novas Tecnologias e Avanços Epistêmicos	111

4.4. Novas Tecnologias e Avanços Semânticos	114
5. CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS	116
5.1. O que Conta como Observável?	121
5.2. Corroboração Empírica Indireta e Estatística	126
5.3. Indetectável não é Ininteligível	131
5.4. Acesso Epistêmico aos Inobserváveis	136
6. CONCLUSÕES	138
6.1. A Meta Indução Otimista	138
6.1.1. O que pretendemos ter demonstrado?	139
6.1.2. O realismo científico	139
6.1.3. O argumento do (não) milagre de Putnam	140
6.1.4. Teoria dos Buracos Negros	141
6.1.5. A seleção pelas melhores teorias	141
6.2. O Papel da Tecnologia	142
6.3. Concepção Realista dos Fenômenos Inobserváveis	143
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

1. INTRODUÇÃO

O buraco negro

Em 10 de abril de 2019 eu - e milhões de outras pessoas ao redor do mundo - via a primeira foto de um buraco negro. *Pōwehī*¹, como fora batizado, tem 6,5 bilhões de vezes a massa do Sol e está localizado no centro da galáxia Messier 87 (M87), a 55 milhões de anos-luz da Terra. “Como os cientistas sabem dessas coisas? Como é possível tirar uma fotografia de algo tão distante e, ainda por cima, tecnicamente invisível?” - perguntei-me. Este será o tema da minha dissertação de mestrado, decidi. Contei empolgado a um professor de filosofia, que meio acanhado respondeu: “interessante, mas isso é ciência. Não há Metafísica”. Conversei também com um professor de Física, que respondeu algo como: “assunto fascinante, mas isso não é ciência; é Metafísica”. “Por que ciência e Metafísica não podem caminhar juntas?” - refleti. “É claro que podem”, respondi-me. A Filosofia é a mãe de todas as ciências, afinal. Os primeiros filósofos do ocidente eram cosmólogos e físicos. Esta é a minha tentativa de responder a alguns dos questionamentos filosóficos (inclusive metafísicos obviamente) advindos das pesquisas científicas. Quais, especificamente?

As teorias científicas realmente descrevem e explicam a realidade como ela realmente é? Como justificar as teorias erradas do passado? Qual é a resposta à tese da meta indução pessimista? É possível falar em progresso científico e na possibilidade de teorias que tragam descrições cada vez mais verdadeiras? Faz sentido falar em explicação com maiores aproximações da verdade? Qual é o papel do avanço tecnológico no fomento do progresso científico? E o contrário, qual é o papel da ciência contemporânea em fomentar o progresso tecnológico? Como a ciência produz conhecimento sobre entes e eventos (ainda) invisíveis aos sentidos - e aos sensores?

Às explicações.

Quais são as teses?

¹ A palavra tem origem no Kumulipo, um canto tradicional havaiano e pode ser traduzido por “embelezada fonte escura de criação sem fim” (conf. LU, 2019).

Apresentados o contexto e as perguntas, passo a propor as minhas respostas.

Em poucas palavras.

A meta indução otimista é a crença de que as teorias científicas tendem a melhorar ao longo do tempo. Neste ponto, realistas e antirrealistas podem concordar quanto ao progresso científico, mas discordar em como se dá este progresso. Um antirrealista poderia defender o progresso meramente empírico, com maior precisão preditiva. O realista, por seu turno, poderia defender o progresso epistêmico (teorias que agregam mais conhecimento) e semântico (teorias como maiores aproximações da verdade ou com modelos/representações semânticos mais precisos). A nossa posição, como defenderemos mais à frente, é a realista. Para tanto, defendo uma vertente (radical?) do realismo científico que acredita que as melhores teorias científicas do presente são aproximadamente verdadeiras, mesmo quanto aos entes inobserváveis (conf. CHAKRAVARTTY, 2007). Em todo caso, novas tecnologias eventualmente detectarão os entes que eram inobserváveis, tornando o evento um fenômeno (ou seja, um evento observável). As teorias poderão então ser aperfeiçoadas, apresentando ainda mais detalhamento quanto ao fenômeno. Além disso, o progresso científico tende a fomentar o surgimento de novas tecnologias. Como consequência disso tudo, haverá avanços epistêmicos, semânticos e progresso tecnológico. A ciência é um processo contínuo e autocorretivo cujas descrições, aproximadamente verdadeiras, se aperfeiçoam no tempo.

Dissecando as ideias.

O **realismo científico** é importante para a tese porque leva a sério as descrições científicas e suas entidades mesmo quanto aos eventos inobserváveis onde a confirmação empírica é (ainda) irrealizável. O realista acredita que elétrons, quarks, buracos negros e outras entidades existem no mundo e são descritos e explicados adequadamente pelas melhores teorias atuais.

O realismo científico costuma ser dividido, para melhor compreensão, em três dimensões: (1) *Metafisicamente*, as teorias científicas descrevem o mundo real, como ele é objetivamente. De resto, para nós é fundamental defender a possibilidade de investigação também dos entes inobserváveis. É dizer, podemos produzir uma descrição verdadeira da entidade ou do evento, com variável grau de detalhamento, a depender de quão bem consolidada é a teoria, mesmo sem possibilidade imediata de confirmação empírica. (2) *Semanticamente* é a crença de que as teorias científicas são descrições literais que possuem valor de verdade - e, sendo assim, devem necessariamente ser proposicionais (trazer uma asserção, que nada mais é que uma sentença declarativa acerca de fatos determinados ou determináveis, resultando necessariamente em uma avaliação binária do tipo verdadeira ou falsa) -, não se constituindo em mera sistematização de dados empíricos coletados. (3) *Epistemologicamente* o realismo científico está comprometido com a crença de que os modelos científicos produzem conhecimento (e aumentam-o paulatinamente, embora não linearmente) acerca da realidade, inclusive quanto às entidades não detectáveis. Só porque uma determinada entidade não é ainda detectável não quer dizer que não possamos ter acesso epistêmico a ela. Ou seja, é possível ter conhecimento sobre um evento ou entidade mesmo sem base empírica direta.

Exemplo: a teoria do buraco negro surgiu como um desdobramento da Teoria da Relatividade Geral com corroboração apenas matemático/teórica, sem possibilidade de confirmação empírica dadas as tecnologias disponíveis no início do séc. XX. Mesmo assim, suas descrições são consideradas (aproximadamente) verdadeiras até os dias atuais.

O **progresso tecnológico** é importante para a tese, pois (1) melhores aparatos tecnológicos (melhores detectores etc.) possibilitarão a observação/detecção de entes então inobserváveis, permitindo a confirmação empírica dos fenômenos. Outra questão importante para a tese, é que (2) o progresso tecnológico permite ainda uma progressiva maior precisão na aferição dos fenômenos, permitindo testar a teoria, enquanto verdade aproximada, até o seu limite descritivo.

Exemplo (1): Voltamos à teoria do buraco negro, que foi confirmada primeiro indiretamente, como a detecção de ondas gravitacionais (vide LIGO, sem data) e outros fenômenos compatíveis com a teoria. A observação direta de um buraco negro veio bem mais tarde pelo projeto *Event Horizon Telescope*, utilizando tecnologia de ponta. Como nenhum telescópio possui resolução suficiente para focalizar algo tão distante, foram usados 8 rádios telescópios, do Havaí ao Arizona, México à Espanha e do Chile ao Polo Norte, com sensibilidade para captar radiação com um milímetro de comprimento de onda. Foram coletados 4 petabytes de informações em cinco noites propícias a observações em abril de 2017, que levaram 2 anos para serem codificadas (tudo conf. CLERY, 2019). Assim, o avanço tecnológico (possibilidade de combinar vários rádios telescópios, melhores processadores de informações etc.) possibilitou a detecção de um ente até então inobservável (buraco negro).

Exemplo (2): Com novas tecnologias, cientistas já foram capazes de aferir que a Teoria Geral da Relatividade de Einstein² descreve corretamente o comportamento da gravidade em cerca de 30 ordens de magnitude, desde escalas submilimétricas até distâncias cosmológicas. Contudo, ainda é persistente a ideia de que a Teoria da Relatividade ainda possa ser aperfeiçoada ou substituída, em certas circunstâncias, por uma teoria mais precisa, especialmente em razão da inconciliabilidade com a Mecânica Quântica (conf. WOLCHOVER, 2020). Se a Teoria da Relatividade continuará resistindo às medições cada vez mais precisas, ainda não sabemos. De todo modo, com o surgimento de melhores tecnologias, tornaram-se possíveis medições cada vez mais precisas.

A **conexão entre ciência e tecnologia** é importante para a tese, pois cada vez mais novas tecnologias estão surgindo em decorrência de avanços tanto no conhecimento científico (avanços epistêmicos), quanto na construção de melhores modelos da realidade (avanços semânticos) - que, por sua vez, acarretarão mais progressos tecnológicos, num processo circular e perene que se retroalimenta.

Exemplos: Rádios telescópios, como os usados para a detecção do buraco negro, só puderam ser concebidos em razão da teorização das equações de

² Albert Einstein (1879 - 1955) físico alemão, laureado com o Prêmio Nobel de Física em 1921.

ondas pelo físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que unificou as equações da eletricidade e do magnetismo (equações de Faraday, Ampère e Gauss) (conf. THOMPSON, 2017). Os processos computacionais usados para decodificar a enorme quantidade de dados são frutos da evolução da Ciência da Computação e não seriam possíveis sem os trabalhos de inventores e teóricos como Napier (c. 1610), Schickard (1623-4), Pascal (1641), Leibniz (1641), Jevons (1869), Hollerith (1890), além de matemáticos como Carissan (1919), Hilbert (1928), Gödel (1931), Turing (1936) e muitos outros (tudo conf. SHALLIT, 1996). Podemos perceber, nestes casos, que a ciência produziu a tecnologia que, por sua vez, possibilitou o aumento do conhecimento científico.

Por fim, a **meta indução otimista** é importante para a tese porque creio que a compreensão científica da realidade tende a se tornar cada vez melhor, por meio de um processo autocorretivo e geralmente suave (ou, raramente com grandes rupturas), e esse progresso é demonstrável³. Veja que, ainda que descrições científicas sem confirmação empírica possam já ser aproximadamente verdadeiras, quando novas tecnologias permitem a confirmação, as teorias ganham mais força probante. Além disso, surgirão tecnologias mais avançadas, em boa parte decorrentes de novos conhecimentos científicos, que pressionarão as teorias vigentes e poderão exigir detalhamentos teóricos mais minuciosos. Paulatinamente, vai sendo possível construir uma representação melhor da realidade, por meio de teorias que descrevem e explicam os fenômenos e eventos de maneira aproximadamente verdadeira - e cada vez mais acurada.

Exemplo: Quer a Teoria da Gravitação Universal de Newton tenha sido refutada pela teoria gravitacional descrita pela Teoria Geral da Relatividade de Einstein ou não, é inegável que houve comparativamente um progresso teórico. O cientista inglês explicou a gravidade pela forma que ela age e suas relações com outras entidades (massa e distância) e isso é uma descrição aproximadamente acurada do fenômeno. Já o físico alemão, deu uma explicação mais geométrica/espacial, como curvatura do espaço/tempo. Além disso, acomodou especificidades não acobertadas e/ou mal explicadas pela teoria anterior (v.g. curvatura da luz - onda eletromagnética - que não possui massa, grandes escalas

³ Demonstraremos diversos exemplos ao longo da dissertação, como tabela periódica, o modelo padrão da Física de Partículas e outros.

etc.) e corrigiu erros (v.g. transmissão instantânea de força gravitacional), sendo portanto uma descrição mais precisa do fenômeno. O fato é que, em escalas humanas, a Gravitação de Newton se mantém, mas em escalas quânticas ou cósmicas, e ainda em circunstâncias extremas (e.g. altíssimas velocidades, buracos negros etc.), ela simplesmente falha e isto é demonstrado empiricamente por meio de tecnologias impensáveis no século XVII. A Gravitação de Einstein, até onde a tecnologia foi capaz de medir, mantém-se incólume em qualquer escala e em qualquer condição, mas os cientistas continuam pressionando, com uso de melhores tecnologias, em busca do seu limite descritivo/explicativo. Ao fim e ao cabo, a teoria de Einstein constitui um progresso epistêmico (é mais explicativa) e semântico (a descrição é uma verdade mais aproximada) em relação à teoria de Newton. Todavia, é aquela a teoria última sobre o fenômeno gravidade? Não sabemos, mas o progresso tecnológico poderá demonstrar se ela falhará em algum ponto.

Estas são, em poucas linhas, as ideias que discutirei com vagar e detalhamento na dissertação a seguir desenvolvida.

2. TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO

A existência de buracos negros já era teorizada desde 1915, como um desdobramento da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, embora ele próprio não estivesse convencido sobre a ideia. Já em 1916 Einstein elabora e apresenta as equações em um artigo chamado "Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral" (conf. DEWITT, 2018, p. 325). Logo em seguida, o físico alemão Karl Schwarzschild⁴ deduziu, a partir dessas equações de Einstein, que um ponto infinitesimal de massa poderia ter uma gravidade tão forte que nem a luz poderia escapar-lhe. Acerca desse tema, Nola (2008, p. 200) enfatiza que nas descrições da postulação de buracos negros de Schwarzschild essas entidades contêm grandes quantidades de teoria. Assim é porque a Teoria dos buracos negros é rica em descrições, embora não fosse possível confirmar empiricamente suas previsões, dada a insuficiente tecnologia do começo do século XX.

Em todo caso, décadas depois, em 1939, o físico norte-americano Robert Oppenheimer⁵ previu que uma estrela colossal poderia colapsar em um ponto. Em 1967, Jocelyn Bell Burnell⁶ descobriu os pulsares, densas estrelas giratórias de nêutrons, comprovando a existência de objetos compactos com massas exorbitantes. O termo *buraco negro* foi cunhado no mesmo ano pelo astrônomo norte-americano John Wheeler⁷. Desde então, astrônomos têm coletado inúmeras *evidências indiretas* da existência de buracos negros, pela forma como suas gravidades interagem com estrelas e outros corpos nos sistemas estelares.

Em 10 de abril de 2019, pela primeira vez, tivemos a oportunidade de ver como é a real aparência de um buraco negro (vide: Event Horizon Telescope, 2019, e CLERY, 2019).

Figura 1 - primeira foto do buraco negro

⁴ Karl Schwarzschild (1873 – 1916) físico e astrônomo alemão.

⁵ Julius Robert Oppenheimer (1904 - 1967), físico teórico americano, diretor do Projeto Manhattan, que criou a primeira bomba atômica.

⁶ Susan Jocelyn Bell Burnell (1943), astrofísica britânica.

⁷ John Archibald Wheeler (1911 – 2008), físico teórico e astrônomo estadunidense.

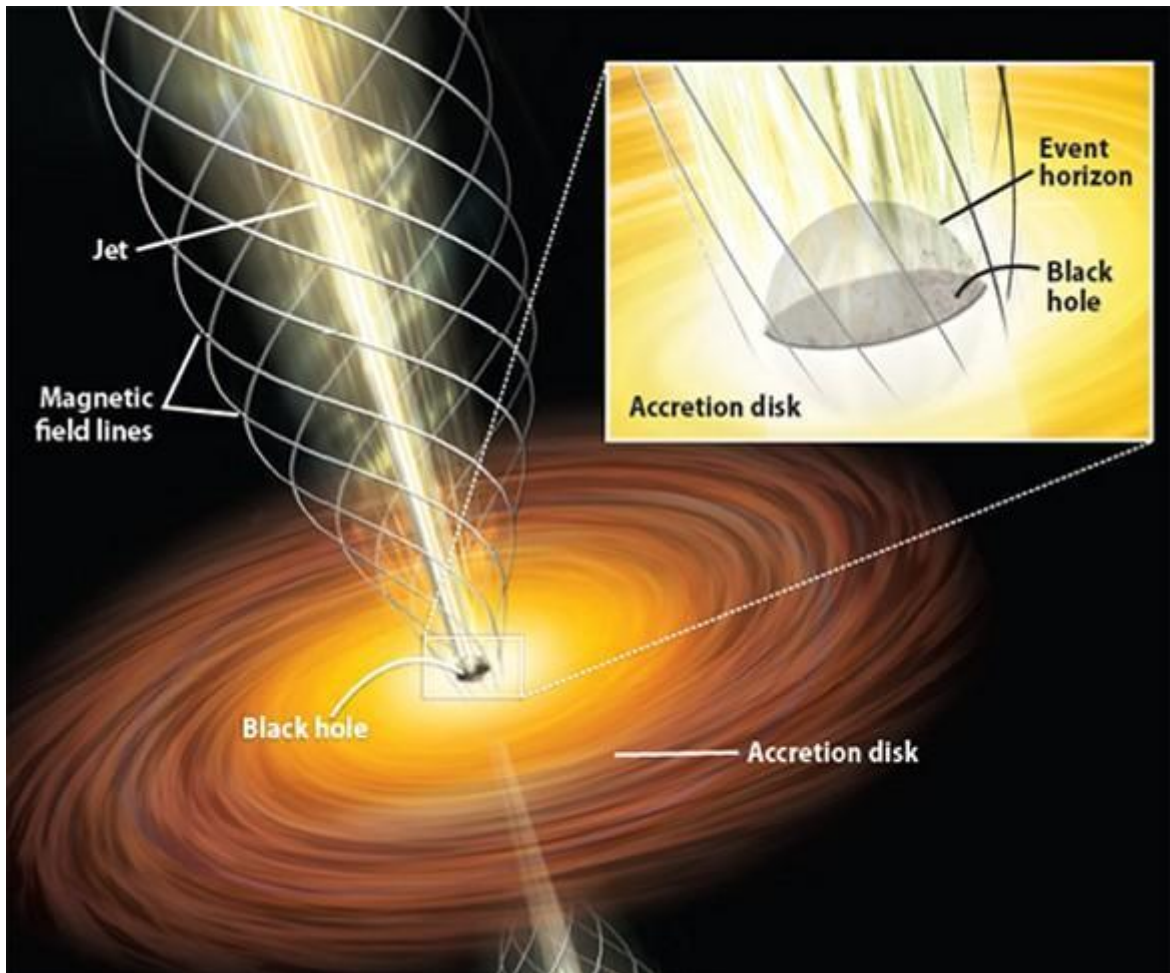


Fonte: Event Horizon Telescope⁸

A rigor, o buraco negro atrai toda a luz (fótons) em seu entorno, o que impossibilita que seja visto. Mas, como pode-se supor, buracos negros são disruptivos e causam uma série de fenômenos que podem ser observados. No centro do buraco negro há uma *singularidade* com uma grande massa concentrada em um ponto infinitesimal, causando uma força gravitacional tão forte que nada pode escapar, nem mesmo a luz e que, portanto, não pode ser observada. O tempo é distorcido de tal forma que se torna quase infinito. Ao redor do buraco há o *horizonte de eventos* que é o ponto de não retorno, do qual para escapar-lhe seria necessário que as partículas fossem mais rápidas do que a luz, o que é considerado uma impossibilidade física. Na parte observável, há materiais como gás, poeira e outros detritos que entram na órbita do buraco negro, mas há uma distância segura, formando uma faixa achatada de matéria giratória em torno do horizonte de eventos chamada de *disco de acreção*. Do disco de acreção partículas são aceleradas a velocidades exorbitantes e perpendicularmente ao centro são expelidos poderosos jatos de calor, raios x e raios gama.

Figura 2 - buraco negro explicado

⁸ Disponível em: <<https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>>. Acesso em: 16 nov. 2020.



Fonte: The Physics of the Universe - Difficult Topics Made Understandable.^{9, 10}

De qualquer forma, astrônomos conseguiram coletar dados que resultaram na imagem de um monstruoso buraco negro (posteriormente batizado *Pōwehi*) com massa 6,5 bilhões de vezes maior do que a do Sol, localizado no centro de galáxia de Messier 87 (M87), nas imediações da constelação de Virgem, há 55 milhões de anos-luz da Terra. A impressionante foto somente tornou-se praticável por meio de um processo colaborativo de mais de 200 cientistas em mais de 40 países de 13 diferentes instituições de pesquisa, chamado Event Horizon Telescope (EHT). Foi um marco para a ciência, especialmente se levarmos em conta que mais de cem anos após uma teorização, demonstrada apenas matematicamente

⁹ Disponível em:

<https://www.physicsoftheuniverse.com/photo.html?images/blackholes_accretion.jpg>. Acesso em: 16 out. 2020.

¹⁰ Em português: *jet* (jato), *magnetic field lines* (linhas de campos magnéticos), *accretion disk* (disco de acreção), *event horizon* (horizonte de eventos) e *black hole* (buraco negro).

- e, portanto, ainda inobservável -, foi possível coletar os dados que a confirma experimentalmente - tornando-a um fenômeno, pois detectado e mensurável. A tecnologia empregada amplia absurdamente nossas capacidades sensoriais, fazendo-nos capaz de observar eventos em uma distância inimaginável, por meio de aparatos que captam dados que nossos sentidos sequer são capazes de perceber. Mas há mais! Foi analisado, como vimos, um volume de dados muito além de nossas capacidades cognitivas. A título de ilustração, seria como ouvir músicas em formato MP3 por 8 mil anos ininterruptamente.

É dizer, a tecnologia atual permite-nos não apenas perceber o que seria invisível para nós (inobservável), como traduzir para uma forma que nossos sentidos (nesse caso a visão) possam compreender (um fenômeno). Dados sensoriais ínfimos, captados nas profundezas do universo foram convertidos, por poderosos processadores e avançados algoritmos, em uma simples foto que podemos compreender adequadamente.

O fato da teoria dos buracos negros por muito tempo ter sido uma mera hipótese especulativa, dada a dificuldade de coleta de dados empíricos, sempre levantou dúvidas sobre a sua veracidade, como se vê:

A ciência no sentido amplo é como um “guarda-chuva”, é um amálgama da filosofia natural com a instrumentalidade, embora nem sempre ambos estejam claramente presentes em todos os campos: astrofísicos ou cosmólogos ainda não oferecem a perspectiva de manipular buracos negros, por exemplo. Mas o efeito totalizante geral do amálgama é extremamente poderoso¹¹ (DEAR, 2006, p. 6).

Nesse sentido, certamente (ainda) não é possível manipular um buraco negro - embora talvez isso seja possível algum dia em escala ínfima em experimentos controlados -, mas certamente a tecnologia atual já permite a observação do fenômeno. Nesse particular, a teoria dos buracos negros atualmente já possibilita uma base de confirmação empírica, e em grande medida confirmada, tornando-a muito mais *respeitável*. Novos estudos do EHT que culminaram em recente publicação (conf. PSALTIS *et al.* - EHT Collaboration, 2020, pub. em

¹¹ No original: *Science in its broad “umbrella” sense is an amalgam of natural philosophy and instrumentality, even though each is not always clearly present with the other in every field: astrophysicists or cosmologists do not yet offer the prospect of manipulating black holes, for example. But the overall totalizing effect of the amalgam is hugely powerful.*

01/11/2020 - vide explicação mais palatável em EHT, 2020), demonstram que a Teoria da Relatividade Geral, especialmente no que se refere a buracos negros, é cada vez mais corroborada e falseá-la torna-se, por consequência, mais difícil. O acúmulo em mais de 100 anos de testes mostram que a Teoria da Relatividade Geral é sólida e é uma excelente descrição de vários fenômenos (aproximação da verdade), como do buraco negro, contudo refutá-la poderia significar um grande avanço para a Física contemporânea. É que a teoria de Einstein é matematicamente incompatível com a mecânica quântica - as leis da Física em escala subatômica - e os cientistas buscam uma forma de unificação na explicação dos fenômenos (explicação ampla da realidade).

Neste sentido:

Em nossa opinião, não é possível reconciliar e integrar em um esquema comum o caráter absoluto e não dinâmico do tempo newtoniano de quantização canônica e abordagens integrais de caminho¹² com o caráter relativístico e dinâmico do tempo na relatividade geral. O que é necessário é uma mudança radical de perspectiva na relatividade geral ou na mecânica quântica. É dizer, precisamos de uma teoria da gravidade com tempo newtoniano não dinâmico, ou de uma teoria quântica com tempo dinâmico em sua construção¹³ (MACÍAS; CAMACHO, 2008, p. 102).

Várias hipóteses têm sido aventadas, mas a teoria da Relatividade Geral tem resistido a todos os testes empíricos até aqui. Nessa perspectiva, o primeiro sucesso empírico da Teoria da Relatividade Geral data já de 1915, com a explicação do movimento do periélio de Mercúrio - um fenômeno em desacordo com a Teoria da Gravitação de Newton. Em 29/05/1919 duas previsões britânicas detectaram a deflexão dos raios solares durante um eclipse em consonância com as previsões do físico alemão. Na década de 60, cientistas conseguiram medir e confirmar o fenômeno chamado *desvio para o vermelho gravitacional*, que é a mudança de frequência da luz ao se propagar perto da superfície da Terra. Já em 1971, o físico Joseph Hafele¹⁴ e o astrônomo Richard Keating¹⁵ voaram duas vezes ao redor do

¹² Integrais de caminho é a formulação de Feynman sobre a mecânica quântica.

¹³ No original: *In our opinion, it is not possible to reconcile and integrate into a common scheme the absolute and non-dynamical character of Newtonian time of canonical quantization and path integral approaches with the relativistic and dynamical character of time in general relativity. What is needed is a radical change of perspective either in general relativity or in quantum mechanics. That is to say, we need either a theory of gravity with a non-dynamical Newtonian time, or a quantum theory with a dynamical time in its construction.*

¹⁴ Joseph Carl Hafele (1933 – 2014) físico estadunidense.

¹⁵ Richard E. Keating (1941 – 2006), astrônomo estadunidense.

globo com dois relógios atômicos e confirmaram a dilatação do tempo. Em 1976 por meio de um experimento chamado *Gravity Probe A*, conseguiram comprovar com maior precisão a dilatação do tempo. Há cem anos, os experimentos eram mais focados em observações solares, recentemente os cientistas têm se concentrado em estrelas de nêutrons e buracos negros. Dos experimentos recentes, um dos mais impressionantes foi levado a cabo pelo *Advanced LIGO*, que em 14/09/2015 mediu ondas gravitacionais. Uma abordagem complementar mede com alta precisão os sinais que pulsares emanam em direção à Terra. Em 2018, a *GRAVITY Collaboration* mediu órbitas estelares perto do candidato a buraco negro supermassivo no centro de nossa galáxia, Via Láctea. Em 10/04/2019 foi tirada a foto do buraco negro da EHT. Previsto para a década de 2030, será lançado ao espaço o observatório espacial de ondas gravitacionais *LISA*, que elevará para altíssimos patamares as medições, com seus braços medindo 2,5 milhões de quilômetros de comprimento (tudo conf. Nature, 2019).

Segundo o professor de astrofísica do UArizona Dimitrios Psaltis, espera-se que uma teoria da gravidade completa seja um pouco diferente da descrição da Relatividade Geral. Contudo, em tese, há várias formas como a teoria poderia ser completada. Com as novas pesquisas, parece claro que a teoria correta não será significativamente diferente, pois suas previsões estão sendo sistematicamente confirmadas (EHT, 2020). Mais à frente no mesmo editorial:

Usando o medidor que desenvolvemos, mostramos que o tamanho medido da sombra do buraco negro em M87 restringe a margem de manobra para modificações na teoria da relatividade geral de Einstein em quase um fator de 500, em comparação com testes anteriores no sistema solar", disse UArizona Astrophysics Professor Feryal Özel, um membro sênior da colaboração EHT. "Muitas maneiras de modificar a relatividade geral falham neste novo e mais rígido teste de sombra de buraco negro¹⁶" (idem, ibidem).

(...)

"Sempre dizemos que a relatividade geral passou em todos os testes com louvor - se eu ganhasse um centavo por cada vez que ouço isso", disse Özel. "Mas é verdade, quando você faz certos testes, não vê que os resultados se desviam do que a relatividade geral prevê. O que estamos dizendo é que, embora tudo isso esteja correto, pela primeira vez temos um medidor diferente pelo qual podemos fazer um teste 500 vezes melhor, e

¹⁶ No original: "*Using the gauge we developed, we showed that the measured size of the black hole shadow in M87 tightens the wiggle room for modifications to Einstein's theory of general relativity by almost a factor of 500, compared to previous tests in the solar system,*" said UArizona Astrophysics Professor Feryal Özel, a senior member of the EHT collaboration. "*Many ways to modify general relativity fail at this new and tighter black hole shadow test.*"

esse medidor é o tamanho da sombra de um buraco negro¹⁷ (idem, ibidem).

Apesar das confirmações empíricas da Teoria da Relatividade Geral nos mais variados fenômenos e condições, há quase um consenso que ela pode ser melhorada, buscando-se uma descrição ainda mais detalhada. Nesse sentido:

A Teoria da Relatividade Geral de Einstein descreve corretamente o comportamento da gravidade em cerca de 30 ordens de magnitude, desde escalas submilimétricas até distâncias cosmológicas. Nenhuma outra força da natureza foi descrita com tanta precisão e em tantas escalas. Com tal nível de concordância impecável com experimentos e observações, a relatividade geral poderia parecer fornecer a descrição final da gravidade. No entanto, a relatividade geral é notável porque prevê sua própria queda.

A relatividade geral fornece as previsões dos buracos negros e do Big Bang na origem do nosso universo. Não obstante, as “singularidades” nesses lugares, pontos misteriosos onde a curvatura do espaço-tempo parece se tornar infinita, agem como bandeiras que sinalizam o colapso da relatividade geral¹⁸ (WOLCHOVER, 2020).

A maioria dos cientistas não acredita na possibilidade de uma singularidade de curvatura infinita (uma espécie de buraco sem fundo - o próprio Einstein era cético nesse ponto), mas não foi possível a confirmação do fenômeno e talvez nunca seja (voltaremos a este ponto em: *5.3. Indetectável não é Ininteligível*). (Veja que há infinitos e infinitos, digamos. Não há problema matemático/teórico em se considerar o universo infinito em dimensão ou que sempre tenha existido ou que não tenha fim, eterno portanto - infinito em duração. Mas a singularidade apresenta um tipo de infinito que não se consegue acomodar nos modelos teóricos existentes.)

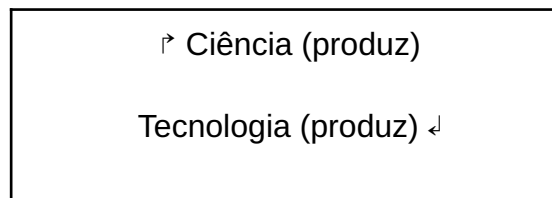
¹⁷ No original: *"We always say general relativity passed all tests with flying colors – if I had a dime for every time I heard that," Özel said. "But it is true, when you do certain tests, you don't see that the results deviate from what general relativity predicts. What we're saying is that while all of that is correct, for the first time we have a different gauge by which we can do a test that's 500 times better, and that gauge is the shadow size of a black hole."*

¹⁸ No original: *Einstein's general theory of relativity correctly describes the behavior of gravity over close to 30 orders of magnitude, from submillimeter scales all the way up to cosmological distances. No other force of nature has been described with such precision and over such a variety of scales. With such a level of impeccable agreement with experiments and observations, general relativity could seem to provide the ultimate description of gravity. Yet general relativity is remarkable in that it predicts its very own fall.*

General relativity yields the predictions of black holes and the Big Bang at the origin of our universe. Yet the "singularities" in these places, mysterious points where the curvature of space-time seems to become infinite, act as flags that signal the breakdown of general relativity.

De qualquer forma, destacamos a teoria dos buracos negros, como um caso paradigmático de sucesso do método científico, eis que haviam previsões científicas que não podiam ser corroboradas experimentalmente até o surgimento de novas tecnologias. Tecnologias estas decorrentes de outras pesquisas científicas, que então demonstraram corretas aquelas teorias e permitiram avanços tanto no conhecimento científico (avanços epistêmicos) quanto na construção de melhores modelos da realidade (avanços semânticos) - que, por sua vez, acarretarão mais progressos tecnológicos num processo circular e perene que se retroalimenta.

Esquemáticamente: ciência (produz) \Leftrightarrow tecnologia (produz)



Entender esse mecanismo é fundamental (melhores desenvolvimento em *4. O Papel da Tecnologia*) se pretendemos defender, indutivamente, o progresso da ciência contemporânea com base no realismo científico, que (para nós) nada mais é que a crença que - pressupondo a existência de um mundo exterior - a ciência evolui e, com base em melhores aparatos sensitivos e epistêmicos, constrói melhores modelos que representam a realidade mais fidedignamente.

3. A META INDUÇÃO OTIMISTA

3.1. Introdução do Capítulo

3.1.1. Sobre o que vamos falar?

O tema deste capítulo é a *meta indução otimista*. Vamos separar as partes do todo para melhor compreensão. Primeiramente, a *indução*. O método indutivo, ou simplesmente indução, é uma ferramenta do raciocínio lógico. Estamos especialmente interessados na *generalização por indução*,¹⁹ isto é, por meio da análise de casos particulares bastantes oriundos da experiência sensível, extrapola-se uma regra geral provável. Como Baggini e Fosl (2010, p. 8) sintetizam:

Freqüentemente, a indução envolve o raciocínio de um número limitado de observações a generalizações mais amplas e prováveis. Raciocinar dessa forma é comumente chamado de "generalização indutiva". É um tipo de inferência que geralmente envolve o raciocínio de regularidades passadas para regularidades futuras²⁰.

Para clarificar, imaginemos um biólogo. Esse biólogo faz uma pesquisa de campo em todos os biomas possíveis, coleta dados empíricos de outros biólogos e constata que todos os cisnes já observados são brancos. Daí o biólogo, com base no método indutivo e na análise desses casos particulares, formula uma regra geral de que provavelmente todos os cisnes são brancos. É diferente da lógica *dedutiva*, onde o *argumento válido com premissas verdadeiras* resulta necessariamente em uma *conclusão igualmente verdadeira*. Exemplificando esquematicamente:

Premissa 1: todos os pássaros têm penas;

Premissa 2: cisnes são pássaros;

Conclusão: cisnes têm penas²¹.

¹⁹ Baggini e Fols explicam que a inferência indutiva pode não ser direcionada do passado para o futuro e pode ir do geral para o específico, do específico para o específico ou do geral para o geral (2010, p. 9).

²⁰ No original: "Often, induction involves reasoning from a limited number of observations to wider, probable generalizations. Reasoning this way is commonly called 'inductive generalization'. It is a kind of inference that usually involves reasoning from past regularities to future regularities".

²¹ Apenas a título de galhofa, poderia-se perguntar: e se alguém arrancasse as penas do cisne? Deixaria de ser cisne? Em semelhante contexto, conta-se que Diógenes, o cínico, após saber da definição da Academia de homem como um "bípede implume" e teria arrancado as penas de uma galinha e dito: *eis aqui o homem de Platão* (conf. ADAMSON, 2014).

Se as premissas 1 e 2 são verdadeiras e o argumento é válido, a conclusão é *necessariamente* verdadeira.

Donde é lícito concluir que, enquanto na lógica dedutiva falamos em conclusão *verdadeira*, em indução falamos em conclusão *provável*.

Baggini e Fosl (2010, p. 8) falam algo semelhante:

Diferentemente das inferências dedutivas, a indução envolve uma inferência onde a conclusão segue das premissas não com necessidade, mas apenas com probabilidade²²...

A indução é uma importante etapa do método científico, pois as hipóteses apresentadas pelas teorias científicas são suportadas indutivamente pelas evidências. No nosso exemplo, se os dados empíricos que sustentam o argumento são verdadeiros, todos os cisnes encontrados são brancos. Se a quantidade de dados coletada for relevante e representativa o suficiente da população de cisnes, podemos supor que provavelmente o próximo cisne que nascerá do ovo X será branco. Ou, com mais evidência, que dos 100 ovos coletados representativos das populações, uma quantidade Y, igual ou bem próxima de 100, *presumivelmente* será de cisnes brancos. A avaliação indutiva dos indícios, ou seja, dos dados coletados, não apoia, por exemplo, uma hipótese de que cisnes possam ser vermelhos. Isso, contudo, não quer dizer que nenhum cisne jamais será vermelho ou de qualquer outra cor. De toda sorte, é importante ter presente que tanto o raciocínio dedutivo quanto o indutivo compõem o método científico, cada uma em diferentes facetas. Vejamos:

Os métodos científicos se dividem em duas grandes categorias: indutivos e dedutivos. Os métodos indutivos chegam a teorias generalizando a partir do que se sabe acontecer em casos particulares; métodos dedutivos, por derivação dos primeiros princípios^{23,24} (NYE, 2008, p. 21.)

²² No original: "Unlike deductive inferences, induction involves an inference where the conclusion follows from the premises not with necessity but only with probability".

²³ A antiga noção dos primeiros princípios que Aristóteles apresenta no livro Analíticos Posteriores é mais restrita para a matemática e leis da lógica do que para as ciências em geral e não desenvolveremos o assunto aqui. O leitor interessado encontrará as definições especialmente em (ARISTOTLE, 1901, p. 24 e s.s.).

²⁴ No original: "Scientific methods divide into two broad categories: inductive and deductive. Inductive methods arrive at theories by generalizing from what is known to happen in particular cases; deductive methods, by derivation from first principles".

Entendido o que é indução (e dedução), vamos explicar o porquê de ser *otimista*. A meta indução *pessimista* é uma crítica do antirrealismo científico, de que não sabemos realmente se as teorias científicas são verdadeiras. O argumento é que, se as teorias científicas antigas precisaram ser substituídas pelas teorias atuais, é porque aquelas eram falsas. Se as teorias antigas eram falsas, é provável, por (meta) indução, que as teorias atuais também sejam falsas e que serão eventualmente substituídas por novas teorias. Todavia, é presumível ainda que estas novas teorias também se mostrem falsas no futuro. A meta indução *otimista* vai criticar esta posição ao apresentar argumentos para refutar estas ilações e tentar demonstrar que há progresso científico, como a noção de aproximação da verdade. (No subcapítulo 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras* detalharemos o conceito, mas por ora, antecipamos que defendemos que a ciência ocupa-se das descrições verdadeiras dos fenômenos, contudo, por melhor e mais precisa, toda descrição é sempre incompleta, uma aproximação, portanto.)

Por fim, entendida que a *indução é otimista*, vamos explicar o porquê do prefixo *meta*. Utiliza-se o prefixo meta para destacar que o exame é feito em um nível superior. A indução é um dos processos do método científico e, sendo assim, ajuda a formatar as teorias científicas (internamente). A meta indução é uma forma de apontar que estamos fazendo indução sobre os processos de criação e substituição das teorias (externamente às teorias, ou seja, uma teoria sobre teorias).

3.1.2. O que pretendemos demonstrar com isso?

Pretendemos fazer uma defesa da meta indução otimista, *i.e.*, que é possível demonstrar que há progresso científico. Para tanto, faremos a defesa do realismo científico. O realismo científico é, grosso modo, a crença de que as teorias científicas são descrições literais e aproximadamente verdadeiras sobre a realidade, incluindo seus aspectos inobserváveis. Para nós, a ciência, utilizando-se de um *modus operandi* próprio, denominado de método científico²⁵, produz conhecimento e

²⁵ Contudo, nem todos os realistas concordariam com a asserção de que a ciência utiliza-se de um método próprio para construir teorias. Alguns realistas, como Howard Sankey, Quine, ou Arthur Fine, veem a ciência como uma forma de investigação que utiliza métodos semelhantes e contínuos ao senso comum. Também é possível entender a ciência como uma atividade que não é

constrói teorias que descrevem (com valor semântico) as coisas que existem, aquelas detectáveis diretamente, indiretamente ou indetectáveis, como elas realmente são, aclarando seu funcionamento ou, nos casos mais complexos e contraintuitivos, com aproximações muito acuradas.

Em adição, analisaremos casos de sucesso do método científico em formular hipóteses que são posteriormente confirmadas com dados empíricos oriundos de diversos processos diferentes. Tal se deu com a teoria do buraco negro, concebida inicialmente sem base empírica, que percorreu um longo caminho de gradual acúmulo de dados até que fosse amplamente aceita pela comunidade científica.

Na sequência, vamos analisar com mais detalhes como se dá a seleção pelas melhores teorias. Por que e em que medida novas teorias são melhores do que as antigas? Qual é o ganho? Quais são os critérios válidos para avaliar o sucesso de uma teoria científica? Essas e outras questões serão respondidas com o olhar do realismo científico.

Por fim, ainda neste capítulo vamos defender que as melhores teorias do presente são (aproximadamente) verdadeiras, não se constituindo em mera sistematização de dados empíricos coletados. Novas teorias científicas devem apresentar melhores modelos descritivos dos fenômenos, melhores previsões de eventos e maiores *aproximações da verdade*.

3.1.3. Porque há dúvida sobre o progresso da ciência?

A grande maioria das pessoas concederia que a ciência é um empreendimento humano extremamente bem-sucedido, especialmente dado o seu poder explicativo e preditivo e seu papel no desenvolvimento de novas tecnologias. Ainda neste capítulo, veremos em *3.4. A Seleção Pelas Melhores Teorias* e *3.5. As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras*, como e porque as melhores teorias do presente apresentam um progresso em relação às teorias do passado. Veremos no capítulo 4 o que entendemos como papel da tecnologia, como

necessariamente regida por um método regrado e próprio, mas sim por intuições ou juízos primitivos acerca do que é razoável crer em face das evidências colhidas.

ocorre o progresso tecnológico, como se dá a colaboração entre ciência e tecnologia e ainda como a tecnologia está relacionada aos avanços epistêmicos e semânticos.

De todo modo, não podemos deixar a crítica cética sem resposta, eis que seus argumentos parecem sólidos e apontam no sentido contrário à intuição partilhada por muitos de que a ciência progride²⁶. Há um conhecido argumento de Poincaré (1905, p. 178), para quem:

A natureza efêmera das teorias científicas pega de surpresa o homem comum. O seu breve período de prosperidade chega ao fim, ele as vê sendo abandonadas uma a uma; ele vê ruínas sendo empilhadas; ele prevê que as teorias da moda de hoje, também sucumbirão em breve e ele chega à conclusão que elas são simplesmente em vão. Ele chamará isso de *falência da ciência*²⁷. (O destaque está no original.)

De começo, convém lembrar que as *melhores teorias científicas* não são necessariamente efêmeras. A título meramente ilustrativo, baseando-se em grande relevância científica, citamos:

- a teoria heliocêntrica de Copérnico²⁸ tem quase quinhentos anos;
- a teoria da combustão por oxigênio de Lavoisier tem aproximadamente 250 anos;
- a teoria da evolução por seleção natural de Darwin²⁹ tem mais de 150 anos.

Teorias científicas sempre podem ser revisadas, ampliadas e atualizadas - e mesmo superadas -, entretanto não é verdade que necessariamente *tenham um breve período de prosperidade*. Assim, a teoria da gravitação universal de Newton³⁰ não se tornou superada pela teoria gravitacional de Einstein, extrapolada pela Teoria da Relatividade Geral, mais de 200 anos depois. O cientista inglês explicou a

²⁶ Laudan, em influente artigo (1981), traz alguns argumentos interessantes contra a meta indução otimista realista, especialmente contra a noção de verdade aproximada e sobre referentes que serão tratados em 3.5.1. *Adequação empírica ou aproximação da verdade?* e 3.3.7. *Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo*, respectivamente.

²⁷ No original: "The ephemeral nature of scientific theories takes by surprise the man of the world. Their brief period of prosperity ended, he sees them abandoned one after another; he sees ruins piled upon ruins; he predicts that the theories in fashion today will in a short time succumb in their turn, and he concludes that they are absolutely in vain. This is what he calls the *bankruptcy of science*" (grifos no original).

²⁸ Nicolau Copérnico (1473 - 1543), astrônomo e matemático polonês.

²⁹ Charles Robert Darwin (1809 - 1882), naturalista, biólogo e geólogo inglês.

³⁰ Sir Isaac Newton (1642 - 1727), matemático, físico, astrônomo, teólogo e autor inglês.

gravidade pela forma que ela age e suas relações com outras entidades (massa e distância) e isso é uma *descrição aproximadamente acurada* do fenômeno. Já o físico alemão, deu outro enfoque, com uma explicação mais geométrica/espacial, explicando o fenômeno como curvatura do espaço/tempo³¹ (veja que Einstein distancia-se da noção de força, no entanto em mecânica quântica a gravidade é explicada com uma das *forças* fundamentais da natureza - conf. WOLCHOVER, 2020). Além disso, acomodou especificidades não acobertadas e/ou mal explicadas pela teoria anterior (v.g. curvatura da luz - onda eletromagnética - que não possui massa, grandes escalas, transmissão instantânea de força gravitacional, etc.), sendo portanto uma *descrição mais precisa* do fenômeno³².

Para ser justo, o próprio Poincaré aponta que o ceticismo é superficial e que as ruínas das teorias passadas podem ser, de algum forma, usadas para reconstruir novas teorias. O matemático, físico e filósofo francês então demonstra várias teorias que se sobrepõem, mesmo sendo a teoria então vigente ainda útil, pois o seu poder preditivo se mantém. Isto se dá porque as equações da teoria anterior expressam relações verdadeiras, como no caso da teoria óptica de Fresnel. O problema é que Fresnel tratava a luz como uma vibração no éter, o que não é mais aceito. De resto, não há sequer necessidade da *entidade éter* para explicar esse ou qualquer fenômeno. Ou seja, o referente³³ “éter” não aponta para nada no mundo. Assim, a teoria de Fresnel foi abandonada mesmo mantendo seu poder preditivo dos fenômenos ópticos em favor da teoria eletromagnética de Maxwell,³⁴ que tem melhor *poder explicativo*. O mesmo se deu com a teoria de dispersão de Helmholtz e várias outras teorias independentes, que partindo de diferentes abordagens, chegavam aos mesmos resultados, pois consideravam as relações das mesmas coisas, com nomes diferentes (ibidem, pp. 178-180).

³¹ A título de comentário lateral, vide a famosa crítica de Bergson sobre a noção espacial do tempo e sua tentativa de trocá-la pelo conceito de duração (1910, esp. p. 76 e s.s. e p. 123).

³² Não podemos concordar com Kuhn, para quem termos como massa não teriam os mesmos referentes na teoria newtoniana e einsteiniana (1970, p. 108). Mais desenvolvimentos em 3.3.7. *Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo.*

³³ Em Linguística, *referente* é um elemento ao qual o signo linguístico faz referência.

³⁴ Vale anotar que a Teoria do Eletromagnetismo de Maxwell foi atualizada à Teoria da Mecânica Quântica pelo diagrama de Richard Feynman, similarmente ao que se deu com a Teoria da Gravitação Universal de Newton face à Teoria da Relatividade Geral de Einstein (vide KOBERLEIN, 2015). O diagrama de Feynman também tem dificuldades, contornadas pela segunda quantização (conf. SIEGEL, 2019).

Assim se dá, no nosso entender, pois apesar da teoria ainda ser empiricamente acurada, a nova teoria pode apresentar *vantagens conceituais*. A ideia é, na verdade, mais simples do que parece à primeira vista. Novas teorias científicas apresentam melhores modelos dos fenômenos, são *melhores aproximações da verdade*. Duas ou mais teorias podem ser empiricamente equivalentes, ou seja, apresentam resultados semelhantes em experimentos controlados acerca de determinado fenômeno e possuem o mesmo grau de previsibilidade desses fenômenos (e confirmação dos fenômenos passados). Contudo, uma delas pode apresentar um *esquema conceitual mais detalhado e mais preciso* e isso poderá possibilitar mais progresso científico, na medida em que esse maior detalhamento permitirá novos desenvolvimentos insuspeitos no esquema anterior mais restrito. Isto fica claro quando percebemos que a física Newtoniana não permitiria a formulação teórica, posteriormente confirmada experimentalmente, de buracos negros, ondas gravitacionais etc.

De todo modo, a defesa realista sobre o progresso científico se fundamenta em, sobretudo, dois argumentos: as (1) *melhores teorias científicas da atualidade* são (2) *aproximadamente verdadeiras*. Assim, realistas se defendem de dois argumentos:

- 1) o de que muitas teorias do passado estavam erradas e, muito possivelmente, algumas do presente também estão. A defesa realista, assim, se concentram apenas nas *melhores teorias dos presente*;
- 2) e de que, mesmo que haja teorias do presente erradas, elas podem estar mais corretas em suas descrições do que teorias do passado. A noção de aproximação da verdade favorece a ideia de progresso científico.

Laudan, em artigo muito influente (1981), tenta demonstrar que a História da Ciência está a demonstrar ampla evidência de teorias superadas, pois seus termos não se referiam a nada, apesar de serem empiricamente adequadas. Realista, no entanto, tenderão a ver teorias do passado que eram empiricamente adequadas como aproximadamente verdadeiras e que seus termos centrais eram referenciados. Realista, assim, dirão que Newton e Einstein se referiam ao mesmo

ente chamado “massa”, mesmo que suas descrições fossem diferentes³⁵. Por extensão, as teorias bem sucedidas da atualidade devem ser aproximadamente verdadeiras e seus termos centrais terem referentes na realidade.

Na sequência entenderemos melhor estes argumentos dentro do contexto realista.

³⁵ Aprofundamentos desta discussão em 3.3.6. *Teorias aceitas pela comunidade são aproximadamente verdadeiras.*

3.2. O Realismo Científico

O método científico consiste em uma sequência de etapas para produzir conhecimento científico. Em nossa acepção, o realismo científico está comprometido com a afirmação que o conhecimento científico descreve o mundo como ele é e que as melhores teorias atuais são (aproximadamente) verdadeiras. Teorias científicas são, portanto, descrições acuradas e verdadeiras do mundo. Vamos decompor alguns termos aqui para uma melhor compreensão.

3.2.1. O que é o Método Científico?

Muito se fala do sucesso da ciência e, como corolário, do prestígio de que o método científico goza, mas afinal como as teorias científicas são construídas e como o conhecimento científico é alcançado? Tentaremos aqui responder a estas questões indispensáveis para o desenvolvimento de nossa tese. Primeiramente o método científico. Para nós, o *método científico* é um procedimento caracterizado por uma série de operações tendentes a formular hipóteses e teorias científicas. Todavia essa definição é pouco informativa. Mais importante é justamente dizer quais são estas operações. Apesar de não haver um consenso entre os estudiosos, podemos citar o que nós achamos mais importante: observação metódica, experimentação sistemática e controlada, raciocínio indutivo e dedutivo (ambos vistos há pouco no início deste capítulo), formulação de hipóteses,³⁶ formulação matemática das regularidades nas relações entre os elementos e, por fim, formulação da teoria científica propriamente dita. Formulada a teoria, ela então será publicada em revistas especializadas e avaliada por outros cientistas (do inglês, *peer*

³⁶ A hipótese poderá ser formulada antes. O essencial é que seja testada ou testável empiricamente. Isso porque é comum que o cientista teórico formule a hipótese e descreva um cenário provável em dadas circunstâncias e cientistas experimentais, com auxílio de engenheiros, construam o equipamento que poderá confirmar empiricamente a hipótese. Uma *teoria ainda não testada* é apenas uma *hipótese*.

*review*³⁷), que então realizarão experimentos independentes, com uso de abordagens e técnicas variadas que poderão corroborar ou refutar a teoria.

Na doutrina especializada, encontramos a seguinte lição:

O estudo do método científico é a tentativa de discernir as atividades pelas quais esse sucesso é alcançado. Entre as atividades frequentemente identificadas como características da ciência estão a observação e experimentação sistemáticas, o raciocínio indutivo e dedutivo e a formação e teste de hipóteses e teorias³⁸ (ANDERSEN; HEPBURN, 2015).

Qualquer que seja a teoria aceita, é importante deixar assentado que haverá contra-exemplos onde algumas dessas operações poderão estar ausentes ou onde, por exemplo, a observação e/ou experimentação serão indiretas. Vale ressaltar que atualmente é cada vez mais comum o uso de simulações computacionais para testes de modelos teóricos de campos tão variados como da astrofísica à microbiologia, uma abordagem já prevista por Feyerabend nos anos 60 (1969, pp. 792). O valor dado a tais testes, no entanto, dificilmente superará a comprovação empírica propriamente dita. (O tema será melhor trabalho em 3.4.2. *O que significa ter maior poder preditivo?*, mas por ora, é importante dizer que predição confirmada empiricamente é uma confirmação [sempre provisória] da teoria científica.)

De qualquer forma, o método científico pode muitas vezes iniciar-se pelo pensamento empírico que é, em linhas gerais, a análise de regularidades passadas e a tentativa de projetá-las ao futuro, contudo não se esgota nele. Atentemos para a seguinte lição:

³⁷ Apesar de não ser uma prática exatamente nova, a revisão por pares granjeou maior importância desde a segunda metade do século XX. Neste sentido: “Nos anos do pós-guerra, houve uma tendência crescente dentro da profissão científica de excluir aqueles que contornavam o sistema revisado por pares de publicação de pesquisas lidando diretamente com a imprensa” (BOWLER; PICKSTONE, 2008, p. 631).

No original: “In the postwar years, there was an increased tendency within the science profession to exclude those who circumvented the peer-reviewed system of research publication by dealing with the press directly”.

³⁸ No original: The study of scientific method is the attempt to discern the activities by which that success is achieved. Among the activities often identified as characteristic of science are systematic observation and experimentation, inductive and deductive reasoning, and the formation and testing of hypotheses and theories.

Além do desenvolvimento do método científico, as inferências dependem de hábitos que foram construídos sob a influência de uma série de experiências particulares não organizadas para propósitos lógicos.³⁹ (DEWEY, 1910, p. 145.)

Dewey dá o exemplo de uma pessoa que prevê que vai chover, pois vê certa configuração no céu que geralmente precede a chuva, mas não sabe explicar a causa ou a correlação entre os dois fenômenos. Desta maneira:

Ele não percebe nenhuma conexão entre a aparência do céu e a chuva que se aproxima; ele não está ciente de qualquer continuidade nos fatos em si - qualquer lei ou princípio, como costumamos dizer. Ele simplesmente, a partir de conjunções freqüentemente recorrentes dos eventos, os associou de forma que quando ele vê um ele pensa no outro. Um sugere o outro ou está associado a ele⁴⁰. (Idem, *ibidem*, p. 145.)

Assim, como de fato ocorreu no passado desde tempos imemoriais e possivelmente ainda ocorre em alguns quadrantes, podemos imaginar um agricultor simples que prevê a chuva a partir de determinada configuração de nuvens no céu, do comportamento dos animais etc. Podemos imaginar que esse homem simples atribui a causa da chuva a determinados humores do deus Y. Em que pese não sejamos crédulos na gerência dos fenômenos climáticos pelo deus Y, a *teoria folclórica* pode ter um grande poder preditivo. Aqui pouco difere do exemplo dado acima sobre a teoria de Fresnel, que embora fosse uma teoria científica e não folclórica como no exemplo acima, explicava o fenômeno óptico de forma falsa como vibrações da luz no éter. Entretanto, vimos que Poincaré observa que a teoria tinha poder preditivo comparável à teoria de Maxwell, que ainda é aceita pela comunidade científica, embora atualizada à mecânica quântica. De qualquer maneira, como também vimos, o método científico vai além do mero pensamento empírico, como demonstra Dewey:

Em contraste com o método empírico temos o científico. O método científico substitui a conjunção repetida ou coincidência dos fatos separados pela descoberta de um único fato abrangente, efetuando esta substituição ao

³⁹ No original: *Apart from the development of scientific method, inferences depend upon habits that have been built up under the influence of a number of particular experiences not themselves arranged for logical purposes.*

⁴⁰ No original: *He does not perceive any connection between the appearance of the sky and coming rain; he is not aware of any continuity in the facts themselves—any law or principle, as we usually say. He simply, from frequently recurring conjunctions of the events, has associated them so that when he sees one he thinks of the other. One suggests the other, or is associated with it.*

dividir os fatos vulgares ou grosseiros da observação em vários processos minúsculos não diretamente acessíveis à percepção⁴¹. (DEWEY, 1910, p. 150.)

A sequência exata de passos de como o método científico se dá, todavia, é controversa, uma vez que haverá uma grande variação em cada caso. Há uma infinidade de possíveis configurações, o que de resto já demonstra até pela falta de consenso, que no mundo dos fatos o nascimento das teorias não se dá de forma tão organizada e uniforme. Cientistas tentarão resolver diferentes problemas com diferentes abordagens, mas a nossa enumeração da série de *operações mais comuns* para formular hipóteses e teorias científicas permanece útil, desde que não seja tomada de modo estrito e nem necessariamente ordenada daquela forma.

Outra questão importante na abordagem científica é a objetividade na análise dos dados empíricos apresentados e da argumentação correlata. O mote “*nullius in verba*” é um indicativo desta postura. *The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge* (A Sociedade Real de Londres para a Melhoria do Conhecimento Natural) é a mais antiga academia científica em contínua existência. Possui mais de 1.600 eminentes cientistas associados de várias partes do mundo⁴². Em seu endereço eletrônico institucional encontramos a seguinte informação:

O lema da Royal Society '*Nullius in verba*' significa “não acreditar na palavra de ninguém”. É uma expressão da determinação dos associados em resistir à dominação da autoridade e de verificar todas as afirmações apelando a fatos determinados por experimentos^{43,44}

Percebemos na exortação da Royal Society a disposição pela busca da verdade por meio do método científico, especialmente pela confirmação empírica (“fatos determinados por experimentos”), resistindo ao argumento de autoridade.

⁴¹ No original: *In contrast with the empirical method stands the scientific. Scientific method replaces the repeated conjunction or coincidence of separate facts by discovery of a single comprehensive fact, effecting this replacement by breaking up the coarse or gross facts of observation into a number of minuter processes not directly accessible to perception.*

⁴² E aqui estas informações servem apenas como um contexto, para demonstrar uma percepção partilhada pelos cientistas, pois não queremos convencer o leitor pela *autoridade* da eminente academia.

⁴³ No original: *The Royal Society's motto 'Nullius in verba' is taken to mean 'take nobody's word for it'. It is an expression of the determination of Fellows to withstand the domination of authority and to verify all statements by an appeal to facts determined by experiment.*

⁴⁴ <https://royalsociety.org/about-us/history/>

Também conhecido como apelo à autoridade, é o argumento logicamente incoerente que visa convencer o interlocutor pela autoridade de quem profere o argumento ao invés da estrutura interna do argumento em si. Vale lembrar que no período escolástico, por exemplo, conceitos em *filosofia natural* resistiram vários séculos pelo peso da tradição e especialmente pela reputação de Aristóteles, conhecido pelo epíteto de *o Filósofo*, e pelos pais da Igreja. O mesmo se deu anteriormente na patrística, trocando Aristóteles por Platão⁴⁵.

É possível, não obstante, que algum leitor objete que nós também estaríamos fazendo um apelo à *autoridade dos cientistas*. Não pensamos ser o caso. Nesse sentido, “A falácia *ad verecundiam* diz respeito a apelos à autoridade ou perícia. Fundamentalmente, a falácia envolve aceitar como evidência para uma proposição o pronunciamento de alguém que é considerado uma autoridade, mas não é realmente uma autoridade⁴⁶” (HANSEN, 2020). Não é este o caso, pois cientistas são especialistas em suas respectivas áreas de estudo e não há nada de errado em confiar na autoridade epistêmica de seus estudos. Aliás, o argumento do (não) milagre, como veremos em 3.3. *O Argumento do (Não) Milagre de Putnam*, reforça o acerto de tal tese.

De resto, a ciência é uma área bem competitiva. Não somente criar, mas falsear uma teoria conhecida também dará notoriedade ao cientista, então existe uma *pressão maior pelo dissenso* (vide discussão mais qualificado sobre este ponto em: 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*) do que pelo consenso, como na escolástica e patrística. Este mesmo dissenso, impede que possamos considerar os cientistas como *uma entidade (una)*, pois há uma grande variedade de pontos de vistas e os acordos virão, principalmente, com base em confirmação empírica. Quanto à Royal Society, a abordagem é excessivamente empirista, contudo esta *ode* pela objetividade no método científico tem um intento muito claro: evitar o erro. Neste sentido:

⁴⁵ Era notório o esforço (e em alguns casos contorcionismo explícito e até deliberadamente *esquecimento* de certos detalhes) de mentes brilhantes em conciliar doutrinas inconciliáveis (como entrar em acordo entre Platão, Aristóteles e doutrinas da Igreja sobre a Teoria das Ideias/Formas). Avicena, Averróis e muitos outros esforçaram-se igualmente para conciliar os gregos pagãos com dogmas do Islã. Para melhor entender esses e muitos outros pontos da história da Filosofia Medieval e Islâmica, vide obras de fôlego de Adamson (2019 e 2016, respectivamente).

⁴⁶ No original: *The ‘ad verecundiam’ fallacy concerns appeals to authority or expertise. Fundamentally, the fallacy involves accepting as evidence for a proposition the pronouncement of someone who is taken to be an authority but is not really an authority.*

O *Insight* principal, que a ciência leva extremamente a sério, é que o conhecimento humano está constantemente ameaçado pelo erro. O erro pode surgir como resultado de enganos, suposições falsas, tradições arraigadas, crença em autoridades, superstição, pensamento positivo, preconceito, parcialidade e até fraude. É claro, todos nós conhecemos essas possibilidades também no pensamento cotidiano, mas a ciência é tipicamente muito mais cuidadosa e bem-sucedida em detectar e eliminar essas fontes de erro⁴⁷. (HOYNINGEN-HUENE, 2008, p. 174.)

Entendido, em suficiente medida, o que é e como se dá o método científico, passemos a analisar as *teorias científicas* geradas por esta série de procedimentos.

3.2.2. O que são Teorias Científicas⁴⁸?

A teoria científica *pode* começar como uma hipótese, ou seja, uma suposição sobre a explicação causal de um fenômeno, posteriormente confirmada empiricamente. Teorias científicas possuem duas facetas essenciais: poder preditivo e poder explicativo (além de potencial para criar novas tecnologias, como veremos em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*).

O poder preditivo se faz presente na teoria quando o fenômeno é justificado em razão das regularidades nas relações entre os elementos, geralmente por formulação matemática, de modo que eventos passados são corroborados com base em dados empíricos e os eventos futuros são previstos. Neste sentido, Quine ressalta que “Nossa teoria científica geral exige do mundo apenas que ele seja estruturado de modo a assegurar as sequências de estimulação que nossa teoria nos faz esperar”⁴⁹ (QUINE, 2004, p. 247).

⁴⁷ No original: *The central insight, which science takes extremely seriously, is that human knowledge is constantly threatened by error. Error may arise as the result of mistakes, false assumptions, entrenched traditions, belief in authorities, superstition, wishful thinking, prejudice, bias, and even fraud. Of course, we all know of these possibilities also in everyday thinking, but science is typically much more careful and successful in detecting and eliminating these sources of error.*

⁴⁸ Há várias teorias sobre teorias. O seguinte resumo é deveras esclarecedor:

“A visão sintática de que uma teoria é uma coleção axiomatizada de sentenças foi desafiada pela visão semântica de que uma teoria é uma coleção de modelos não linguísticos, e ambas são desafiadas pela visão de que uma teoria é uma entidade amorfa que consiste talvez de sentenças e modelos, mas tão importante quanto de exemplos, problemas, padrões, habilidades, práticas e tendências”. (Savage 1990, vii – viii apud WINTHER, 2020.)

⁴⁹ No original: *Our overall scientific theory demands of the world only that it be so structured as to assure the sequences of stimulation that our theory gives us to expect.*

Como exemplo de teorias que demonstraram grande poder preditivo, temos a Teoria da Gravitação de Newton e a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, como se vê:

Provavelmente, as previsões mais espetaculares foram feitas nas ciências naturais com base em teorias. A descoberta do planeta Netuno com base na Teoria Newtoniana e a previsão da curvatura da luz pela gravitação com base na Teoria da Relatividade Geral são exemplos paradigmáticos. Essas previsões dramáticas diziam respeito a objetos ou fenômenos ainda desconhecidos.⁵⁰(HOYNINGEN-HUENE, 2008, p. 173)

Já sobre o poder explicativo⁵¹, precisamos ter em mente que teorias científicas são descrições verdadeiras do mecanismo causal dos fenômenos do mundo como eles realmente são (ou muito aproximadamente, levando em conta a experiência humana, ou seja, a nossa percepção, linguagens compreensíveis aos seres humanos etc. - mais detalhes em: 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras* e no capítulo 4 *O Papel da Tecnologia*, especialmente no subcapítulo 4.3. *Novas Tecnologias e Avanços Epistêmicos*).

Além disso, outro fator que vai contribuir com o aumento do poder explicativo das teorias científicas é a unificação na explicação dos fenômenos. Segundo Hoyningen-Huene, “É óbvio que a invenção e o uso de teorias aumentam imensamente a sistematicidade da ciência devido ao seu potencial para fornecer explicações unificadas”⁵² (HOYNINGEN-HUENE, 2008, p. 172). Tal se dá, vez que teorias científicas são modelos descritivos da relação causal dos fenômenos, e portanto explicações mais abrangentes que meros raciocínios empíricos ou do conhecimento cotidiano, que é menos sistematizado.

Dewitt cita duas teorias com extraordinário poder explicativo: a Teoria da Gravitação Universal de Newton e a Teoria da Evolução das Espécies de Darwin. Em suas próprias palavras:

⁵⁰ No original: *Probably the most spectacular predictions have been made in the natural sciences the basis of theories. The discovery of the planet Neptune on the basis of Newtonian Theory and the prediction of the bending of light by gravitation on the basis of the General Theory of Relativity are paradigmatic examples. These dramatic predictions concerned yet unknown objects or phenomena.*

⁵¹ Entendemos por poder explicativo, a capacidade de uma teoria científica em produzir esquemas conceituais e descrições dos fenômenos e da realidade.

⁵² No original: *It is obvious that the invention and use of theories immensely increases the systematicity of science because of their potential to provide unified explanations...*

Da mesma forma que Newton forneceu um apoio lento e crescente para suas ideias-chaves, de modo que, no final do *Principia* você foi exposto ao impressionante poder explicativo das novas ideias, assim também é o caso da Origem das Espécies de Darwin. No último capítulo, Darwin descreve seu livro como “um longo argumento” e nesse longo argumento Darwin, como Newton, apresenta as idéias-chaves lenta e cuidadosamente. O efeito cumulativo é muito parecido com o do *Principia*, no sentido de que, no final, você viu uma demonstração impressionante do poder explicativo dessas novas idéias⁵³. (DEWITT, 2018, p. 456.)

É interessante como Dewitt parece destacar o poder explicativo das Teorias de Darwin e Newton, principalmente como um argumento de adequação empírica e talvez fosse mesmo uma característica mais acentuada na ciência daquela época. Contudo, defendemos aqui a visão realista de que as explicações científicas das melhores teorias são (aproximadamente) verdadeiras também quanto aos fenômenos (ainda) sem possibilidade tecnológica de confirmação empírica. (Veremos uma argumentação mais desenvolvida sobre o tema nos capítulos 4 *O Papel da Tecnologia* e 5 *Concepção Realista dos Fenômenos Inobserváveis*.)

Ao fim, nosso desígnio fundamental nesse momento é apenas destacar que as teorias científicas devem não apenas descrever o mecanismo causal dos fenômenos do mundo, como também, sempre que possível, fazer previsões, bem como explicar empiricamente os fenômenos do passado.

3.2.3. O que é Conhecimento Científico?

Apesar do conhecimento científico ser um conceito apreensível sem maiores desinteligências, pensamos ser oportuno tecer algumas linhas a esse respeito. A maioria dos estudiosos não acredita que o conhecimento científico seja ontologicamente diferente do conhecimento cotidiano. Neste contexto, Paul Hoyningen-Huene (2008, p. 169) explica que “conhecimento científico diferencia-se de outros tipos de conhecimento, especialmente do conhecimento corriqueiro, pelo

⁵³ No original: *Much as Newton provided a slow, accumulating amount of support for his key ideas, such that by the end of the Principia you have been treated to an impressive treatment of the explanatory power of the new ideas, so also is the case with Darwin's Origin of Species. In the last chapter, Darwin describes his book as “one long argument,” and in this long argument Darwin, like Newton, presents the key ideas slowly and carefully. The cumulative effect is much like that of the Principia, in that by the end you have seen an impressive display of the explanatory power of these new ideas.*

seu maior grau de sistematização⁵⁴". Ou ainda, que "Toda a ciência nada mais é do que uma sistematização do pensamento cotidiano⁵⁵" (ibidem, p. 180).

Quine (2004, p. 198) entende que o conhecimento científico não é estruturalmente diferente do conhecimento do homem comum, mas uma espécie de senso comum qualificado pelo maior grau de profundidade. Vejamos:

A ciência não é um substituto para o senso comum, mas uma extensão dele. A busca pelo conhecimento é propriamente um esforço simplesmente para ampliar e aprofundar o conhecimento que o homem da rua já desfruta, com moderação, em relação às coisas corriqueiras ao seu redor⁵⁶.

Vale apontar que, da mesma forma que a objetividade, o bom senso ajuda a reduzir a ocorrência dos erros nos processos científicos, na medida em que exige uma maior racionalização nas tomadas de decisões e conclusões.

Revisando as ideias, neste capítulo vimos as principais operações do método científico para chegar-se à formulação de teorias científicas, também já explicadas, e, por fim, fecha-se o ciclo alcançando o conhecimento científico. Neste ponto, poderemos avançar sobre o argumento do não milagre de Putnam e sobre o realismo científico propriamente dito.

⁵⁴ No original: *Scientific knowledge differs from other kinds of knowledge, especially from everyday knowledge, by its higher degree of systematicity.*

⁵⁵ No original: *The whole of science is nothing more than a systematisation of everyday thinking.*

⁵⁶ No original: *Science is not a substitute for common sense, but an extension of it. The quest for knowledge is properly an effort simply to broaden and deepen the knowledge which the man in the street already enjoys, in moderation, in relation to the commonplace things around him.*

3.3. O Argumento do (Não) Milagre de Putnam

Segundo DAWID, HARTMANN (2017):

O Argumento do Não Milagre - ANM (*No Miracles Argument - NMA*) é indiscutivelmente o argumento mais influente a favor do realismo científico. Formulado pela primeira vez sob este nome em Putnam (1975), o ANM afirma que o sucesso preditivo da ciência seria um milagre se as teorias científicas preditivamente bem-sucedidas não fossem (pelo menos) aproximadamente verdadeiras⁵⁷.

Contudo, primeiramente, vamos entender melhor o que é o realismo científico. Para melhor entendimento teórico, o realismo científico geralmente é separado em três dimensões distintas: metafísica, semântica e epistemológica. *Metafisicamente* é a defesa de uma realidade objetiva, independente de mentes. Assim, teorias científicas descrevem o mundo real, como ele é objetivamente. Uma crítica antirrealista comum na dimensão metafísica, seria dos neokantianos, que não negam (necessariamente) a realidade em si, mas negam a possibilidade de conhecimento do mundo em si mesmo independente do mundo do cientista. Em outras palavras, o mundo em si pode até existir sem uma mente, mas o mundo da experiência é dependente da mente, razão pela qual não se poderia falar em realidade objetiva (conf. CHAKRAVARTTY, 2017).

Semanticamente é a crença que teorias científicas são literais e possuem valor de verdade - e, sendo assim, devem necessariamente ser proposicionais (trazer uma asserção, que nada mais é que uma sentença declarativa acerca de fatos determinados ou determináveis, resultando necessariamente em uma avaliação binária do tipo verdadeira ou falsa) -, não se constituindo em mera sistematização de dados empíricos coletados. Refutam-se, por oportuno, correntes instrumentalistas, que apregoam que teorias científicas se prestam, fundamentalmente, à realizar previsões dos fenômenos, confirmados mediante conformação empírica, e a resolver determinados problemas conceituais particularmente úteis em situações práticas.

⁵⁷ No original: *The No Miracles Argument (NMA) is arguably the most influential argument in favour of scientific realism. First formulated under this name in Putnam (1975), the NMA asserts that the predictive success of science would be a miracle if predictively successful scientific theories were not (at least) approximately true.*

Por último mas não menos importante, *epistemologicamente* o realismo científico está comprometido com a crença de que os modelos científicos produzem conhecimento (e aumentam-no paulatinamente, embora não linearmente) acerca da realidade, inclusive quanto às entidades não detectáveis - e nesse ponto reside um grande desafio. Voltaremos a ele oportunamente em 5. *CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS*. De todo modo, o realismo científico contrapõe-se às escolas céticas de pensamento - que em algum momento suspendem o juízo, pois entendem impossível a confirmação da explicação da teoria. Tomemos Kuhn⁵⁸ e Feyerabend⁵⁹, por exemplo, que defendem que teorias científicas incompatíveis são incomensuráveis. Kuhn descreve o problema como *membros de comunidades com idiomas diferentes* e estes problemas de comunicação deveriam ser entendidos como *problemas de tradução* (idem, ibidem, p. 164). Não é o que é defendido aqui e em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*, veremos critérios para julgar a preferência pelas teorias.

Muito da nossa definição do realismo científico devemos às lições de Chakravartty, razão pela qual transcrevemos o seguinte trecho:

Ontologicamente, o realismo científico está comprometido com a existência de um mundo ou realidade independente da mente. Uma semântica realista implica que as afirmações teóricas sobre essa realidade têm valores de verdade e devem ser interpretadas literalmente, sejam verdadeiras ou falsas. (...) Por fim, o compromisso epistemológico é com a ideia de que essas afirmações teóricas nos dão conhecimento sobre o mundo. Ou seja, teorias preditivamente bem-sucedidas (maduras, não *ad hoc*), tomadas literalmente como descrevendo a natureza de uma realidade independente da mente são (aproximadamente) verdadeiras. As coisas que nossas melhores teorias científicas nos dizem sobre entidades e processos são descrições decentes de como o mundo realmente é⁶⁰ (2007, p. 9.).

⁵⁸ Kuhn chega ao extremo de defender que várias escolas científicas terão “maneiras incomensuráveis de ver o mundo e de praticar a ciência nele” (*incommensurable ways of seeing the world and of practicing science in it*) (1970, p. 16).

⁵⁹ Feyerabend sugere o uso de conceitos científicos *ambíguos* e *contraintuitivos* e que a “incomensurabilidade é um problema para filósofos e não cientistas” (*Incommensurability is a problem for philosophers not for scientists*) (1993, p. 2011). Nada mais distante do que propomos. Voltaremos ao tema em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*.

⁶⁰ No original: *Ontologically, scientific realism is committed to the existence of a mind-independent world or reality. A realist semantics implies that theoretical claims about this reality have truth values, and should be construed literally, whether true or false. (...) Finally, the epistemological commitment is to the idea that these theoretical claims give us knowledge of the world. That is, predictively successful (mature, non-ad hoc) theories, taken literally as describing the nature of a mind-independent reality are (approximately) true. The things our best scientific theories tell us about entities and processes are decent descriptions of the way the world really is.*

Outro estudioso que define o realismo científico em termos análogos é Van Fraassen, *in verbis*:

O realismo científico é a posição de que a construção da teoria científica visa nos dar uma história literalmente verdadeira de como o mundo é e que a aceitação de uma teoria científica envolve a crença de que ela é verdadeira. Conseqüentemente, o antirrealismo é uma posição segundo a qual o objetivo da ciência pode ser bem servido sem fornecer uma história literalmente verdadeira e a aceitação de uma teoria pode envolver apropriadamente algo menos (ou outra coisa) do que a crença de que ela é verdadeira⁶¹ (1980, p. 9.).

Nesta definição também estão presentes as três dimensões, embora de forma menos óbvia. Veja que temos o compromisso de que uma teoria científica é uma *história literalmente verdadeira de como o mundo é* (dimensão metafísica), com a *crença de que ela é verdadeira* (dimensão epistêmica) e com *valor de verdade* (dimensão semântica). Retornamos a Chakravartty que, em apertada síntese, define o realismo científico como “a visão de que nossas melhores teorias científicas fornecem descrições aproximadamente verdadeiras de *aspectos observáveis e inobserváveis* de um mundo independente da mente⁶²” (2007, p. 232 - os destaques são nossos). Vejamos agora a conceituação de Einstein sobre o que ele julga ser ciência, que levanta questões interessantes. Em suas palavras:

Não seria difícil chegar a um acordo quanto ao que entendemos por ciência. A ciência é um esforço que já dura um século para reunir, por meio do pensamento sistemático, os fenômenos perceptíveis deste mundo em uma associação tão completa quanto possível. Sendo ousado, é a tentativa de reconstrução posterior da existência pelo processo de conceituação⁶³ (1940, p. 605).

Aqui Einstein emprega termos chaves como *pensamento sistemático*, *associação entre os fenômenos*, *conceituação*, mas parece colocar a ciência entre

⁶¹ No original: *Scientific realism is the position that scientific theory construction aims to give us a literally true story of what the world is like, and that acceptance of a scientific theory involves the belief that it is true. Accordingly, antirealism is a position according to which the aim of science can well be served without giving such a literally true story, and acceptance of a theory may properly involve something less (or other) than belief that it is true.*

⁶² No original: *(Scientific realism is) the view that our best scientific theories give approximately true descriptions of both observable and unobservable aspects of a mind-independent world.*

⁶³ No original: *It would not be difficult to come to an agreement as to what we understand by science. Science is the century-old endeavour to bring together by means of systematic thought the perceptible phenomena of this world into as thorough-going an association as possible. To put it boldly, it is the attempt at the posterior reconstruction of existence by the process of conceptualization.*

bordas muito restritas ao falar apenas em *fenômenos perceptíveis*. Melhor, pensamos, teria sido falar em *fenômenos com potencial para percepção*. Como vimos há pouco, o realismo científico tem comprometimento de que mesmo os fenômenos inobserváveis conceituados pelas melhores teorias científicas do presente são descritos corretamente (ou muito aproximadamente). Ou seja, os termos científicos, mesmo dos elementos inobserváveis, são referentes que apontam para algo real no mundo. O tema será melhor tratado no capítulo 5 (especialmente em 5.4 Acesso Epistêmico aos Inobserváveis). Aliás, vimos em 2.4. *O Caso do Buraco Negro* como buracos negros surgiram como *hipótese* pelo próprio Einstein, como uma *mera excentricidade matemática*, e levou-se décadas para que começassem a acumular dados empíricos que a tornaram uma teoria amplamente aceita pela comunidade científica. Também veremos (em 5. **CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS**) a diferença entre observação direta, indireta e inobservável e como, com avanço tecnológico e melhores esquemas conceituais, fenômenos então inobserváveis passam a ser testados empiricamente.

De toda forma, é necessário mais uma vez que fique assente que, para a defesa do realismo científico, é fundamental manter que as melhores teorias científicas descrevem verdadeiramente o mundo e os fenômenos observáveis direta ou indiretamente ou os eventos (ainda) inobserváveis (muito aproximadamente) como eles realmente são.

Feita esta introdução, vamos analisar o argumento de Putnam em suas próprias palavras sobre a relação entre determinada visão realista da ciência e seu sucesso:

O argumento afirmativo para o realismo é que ele é a única filosofia que não faz do sucesso da ciência um milagre. [...] que as teorias aceitas em uma ciência madura são aproximadamente verdadeiras, que o mesmo termo pode referir-se à mesma coisa, mesmo em teorias diferentes - estas afirmações são [...] a única explicação científica para o sucesso da ciência e, assim, fazem parte de qualquer descrição científica adequada da ciência e suas relações com seus objetos⁶⁴ (1979, p. 73).

⁶⁴ No original: *The positive argument for realism is that it is the only philosophy that doesn't make the success of science a miracle. [...] that the theories accepted in a mature science are typically approximately true, that the same term can refer to the same thing even when it occurs in different theories - these statements are [...] the only scientific explanation of the success of science, and hence as part of any adequate scientific description of science and its relation to its objects.*

Há vários argumentos embutidos nesta audaciosa afirmação, por isso tentaremos decompô-los para melhor análise:

[1] A ciência é um sucesso;

[2] A ciência não é um sucesso por acaso;

[3] Doutrinas realistas são as únicas que oferecem uma descrição adequada da ciência e de como suas melhores teorias são um sucesso;

[4] Teorias antirrealistas, *a contrario sensu*, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência;

[5] Os ramos das ciências amadurecem e, quando isso acontece, [6] teorias aceitas pela respectiva comunidade são aproximadamente verdadeiras;

[7] Termos de teorias científicas são referentes que apontam para algo (real) no mundo.

3.3.1. A ciência é um sucesso

A ciência é um dos empreendimentos humanos mais bem-sucedidos. O sucesso da ciência tem duas facetas muito claras: (a) as teorias científicas explicam o mundo, ou seja, tornam o aparente caos que nos cerca em algo inteligível. Estas explicações podem dar origem a previsões. Neste sentido, citamos o exemplo do buraco negro, previsto sem suporte empírico e, mais de cem anos depois, confirmado empiricamente, como um caso de sucesso de uma teoria científica em descrever até mesmo entes inobserváveis; e (b) geram tecnologias que salvam vidas e tornam a vida humana mais saudável e mais satisfatória. Geram armas e destruição também, mas o saldo é amplamente satisfatório, como diversos indicadores estão a apontar (e.g.: expectativa de vida⁶⁵, mortalidade materna⁶⁶,

⁶⁵ Sobre expectativa de vida, por exemplo, Riley (2005) aponta que entre os anos 1800 e 2001 saltou de 28,5 para 66,6 e o aumento só não é maior pelo abismo entre os países ricos e pobres, justamente onde há menos recursos tecnológicos e menos investimentos em ciência (a conclusão final é nossa).

⁶⁶ Novas drogas e melhores técnicas médicas, ambas oriundas de estudos científicos, também diminuíram enormemente a mortalidade materna em todo o mundo. Para dados abrangentes, veja (HANSON, 2010). Citaremos um trecho expressivo: “No entanto, independentemente da organização histórica do atendimento ao parto, a melhoria na avaliação do atendimento obstétrico e hospitalar geral em todos os países de alta renda, juntamente com a disponibilidade de novos medicamentos, como ocitocina, sulfonamidas e penicilina, bem como a melhora na transfusão de sangue levaram ao

mortalidade infantil⁶⁷). A vida contemporânea tem seus reveses, mas a grande maioria das pessoas preferiria viver nos dias de hoje do que ter uma vida idílica, *calma e tranquila*, com expectativa de vida pouco além dos vinte anos e sujeito a morrer ou ter sequelas graves por qualquer acidente ou doença triviais. Além do mais, a vida era dura, sem confortos, com limitações nas dietas, tanto em quantidade de ingestão calórica quanto em variedade de nutrientes. Além de altíssimas taxas de mortalidade infantil e óbito materno, só para explorar alguns exemplos. Gravidez e especialmente o parto eram situações arriscadíssimas até tempos bem recentes. Todas essas comodidades e melhoras em qualidade de vida foram possíveis não apenas com o emprego de novas tecnologias, mas muitas vezes por meio apenas de novos conhecimentos científicos. Hábitos simples, como lavar as mãos antes de realizar cirurgias ou partos, parecem banais, mas causaram verdadeiras revoluções silenciosas que impactaram parcela expressiva da população⁶⁸. E tais revoluções só foram possíveis depois da assimilação de engenhosas teorias científicas. Sim, a ciência é um sucesso.

3.3.2. A ciência não é um sucesso por acaso

A ciência é um processo engenhoso. Para ter sucesso empírico a teoria precisa fazer previsões acuradas dos fenômenos e para isso são importantes especialmente a observação metódica e a experimentação controlada. Já explicar corretamente⁶⁹ o mecanismo, ou seja, a mecânica dos fenômenos ou porque e em

declínio tremendo na mortalidade materna entre 1940 e 1969 de 400 a 30 mortes por 100.000 nascidos vivos em 30 anos” (Ibidem, p. 22.).

No original: *However, regardless of the historical organisation of delivery care, improved assess to obstetrical and general hospital care in all high income countries together with the availability of new drugs such as oxytocin, sulphonamides & penicillin, as well as improved blood transfusion led to the tremendous decline in maternal mortality between 1940 and 1969 from 400 to 30 deaths per 100,000 live births in 30 years.*

⁶⁷ Em estudos que culminaram em projeções desde a Grécia antiga, Volk e Atkinson (2013) estimam que cerca de 27% dos infantes não sobreviveram além do primeiro ano de vida e 47,5% não chegavam aos 15 anos. Atualmente, cerca de 4,6% morrem antes dos 15 anos, segundo dados do Unicef (UN IGME, 2018). Sendo assim, o risco da mortalidade infantil atualmente, na média mundial, é dez vezes menor do que a média histórica, chegando a ser 170 vezes mais improvável em países mais desenvolvidos (conf. ROSER, 2019).

⁶⁸ Nesse ponto, os estudos pioneiros do médico húngaro Ignaz Semmelweis, no séc. XIX, sobre profilaxia, diminuíram drasticamente os casos da chamada febre puerperal e, conseqüentemente, morte materna (vide SEMMELWEIS, 2008). O *insight* de Semmelweis hoje pode soar prosaico: lavar as mãos antes de fazer um parto, especialmente se, em uma escola de medicina como era o caso, anteriormente o médico tinha lidado com cadáveres.

⁶⁹ Na conhecida lição de Aristóteles, “dizer sobre o que é que é, e sobre o que não é que não é” (2015, p. 119). No original: to say of what is that it is, and of what is not that it is not, is true

que circunstâncias eles ocorrem, é estabelecer a verdade (aproximada). Quando teorias dão origem a equações e experimentos controlados confirmam empiricamente a teoria, há uma grande chance de que a teoria de fato traga descrições acuradas acerca do fenômeno. Tal se deu com as ondas gravitacionais, previstas por Albert Einstein em 1916 como desdobramento de sua teoria da relatividade geral e só detectadas quase um século após, em 2015. Ainda assim, é sempre possível que haja apenas uma coincidência na parte explicativa da teoria e no futuro uma nova teoria explique corretamente o fenômeno, embora quanto mais precisa seja a teoria, maior é sua força probante e, conseqüentemente, sua *provável* aproximação à verdade. Tais situações são mais comuns durante o amadurecimento de novos ramos da ciência, como veremos logo mais em 3.3.5. *Os ramos das ciências amadurecem.*

Mas de volta às teorias da gravidade, veja que tanto Newton quanto Einstein descreveram a gravidade e suas relações adequadamente; pois são descrições bastante acuradas do fenômeno, descrevendo o mesmo fenômeno, embora com enfoques distintos, mesmo porque o último teve mais de 200 anos de amadurecimento da ciência para tirar proveito. Não pensamos ser possível afirmar seriamente que existem dois fenômenos distintos, ambos chamados *gravidade* (discutiremos melhor em 3.3.7. *Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo.*).

Dessa forma, temos que, além de sucesso empírico, é indispensável que uma teoria bem-sucedida apresente um excelente esquema conceitual, que possa ser avaliado semanticamente e que tenha um elevado poder explicativo do fenômeno. Isso vai permitir que a teoria assim concebida seja capaz de dialogar com outras teorias (novamente, vide 3.3.7. *Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo.*) aparentadas ou mesmo teorias insuspeitas com as quais possa ter aplicações conjuntas. Teorias assim concebidas também apresentam maior potencial transformador e geradoras de tecnologias. Como dissemos, é um processo engenhoso e autocorretivo e com melhores tecnologias e mais contexto (mais conhecimento), as teorias atuais tendem a ter um sucesso ainda maior do que as teorias do passado.

Pelo exposto, não há milagre no sucesso da ciência; há um sistema que progressivamente gera melhores explicações dos fenômenos, conhecimentos mais abrangentes e novas tecnologias, que por sua vez ajudam a gerar novos avanços empíricos, semânticos e epistêmicos (mais detalhes em: 4 *O Papel da Tecnologia*).

3.3.3. *Doutrinas realistas são as únicas que oferecem uma descrição adequada da ciência e de como suas melhores teorias são um sucesso*

Dos conceitos já apresentados, tentamos demonstrar que a ciência é um sucesso - e não é por *milagre*. Há técnicas e métodos que contribuem para o eventual sucesso das explicações, dos modelos e das novas tecnologias ao longo do tempo - sim, pois o tempo conspira a favor da ciência. Como já tivemos oportunidade de dizer, o realismo científico é a *corrente filosófica* que defende que as teorias científicas descrevem o mundo real como ele é e que as melhores teorias atuais são verdadeiras. Somente o realismo tem esse comprometimento e assim o método científico faz mais sentido. Mas o que dizem os antirrealistas?

3.3.4. *Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*

Correntes antirrealistas de diversos matizes, como as neo-kantianas, tentarão justificar que teorias científicas são apenas representações ou previsões particularmente úteis de fenômenos, sem que seja possível o acesso ao ente em si e sem que o referente aponte para algo real no mundo. Para eles costuma ser problemática a noção de conhecimento ou de aproximação da verdade em suas descrições. Essa visão estritamente pragmática e algo cética parece ser insatisfatória. Citando Aristóteles em sua famosa frase inaugural da *Metafísica*: “todo homem, por natureza, deseja saber⁷⁰” (2015, p. 10). E saber a verdade, acrescentamos (o que por certo já estava implícito em seu pensamento). Não basta saber, portanto, de uma representação apenas útil. O que nós almejamos é o conhecimento profundo sobre a realidade e nada parece nos demonstrar que este projeto seja irrealizável.

⁷⁰ No original: *All men by nature desire to know.*

Nessa conjuntura, não vemos sentido em duvidar das descrições científicas e apostar apenas nas previsões empíricas, pois as descrições são parte importante do mecanismo. É claro que não existe objetividade completa e em alguma medida poder-se-ão fazer uso de analogias ou mesmo figuras de linguagens. Vejamos o caso dos quarks. (O físico Murray) “Gell-Mann os chamou de *quarks*, após ler *Finnegans Wake* de James Joyce e o poema absurdo *Três quarks para Muster Mark*”⁷¹ (INGLIS-ARHELL, 2012). Quarks são partículas (aparentemente) elementares que compõem os prótons e nêutrons. Os quarks nunca estão sós, estão sempre associados para formar partículas compostas chamadas hádrons. Pelo princípio da exclusão de Pauli⁷², duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado quântico. Dessa forma, foi necessário organizar os quarks em seis tipos, divididos por *sabores*: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* e *bottom*, dos quais os dois primeiros compõem a matéria e os outros quatro existem apenas em situações excepcionalíssimas, como em experimentos com aceleradores de partículas. Assim:

A combinação diferente de quarks deu a eles uma massa diferente. Essa combinação de carga e massa, bem como algumas outras qualidades esotéricas, compõem o "sabor" de cada quark. Por que eles não podem ser chamados apenas de "tipos" - talvez devêssemos perguntar a James Joyce⁷³ (idem, ibidem).

Os sabores são apenas formas de separar os quarks pela sua massa estimada em isolamento, ou seja, faz-se uso de uma *analogia* (talvez até um tanto vaga, quase como uma figura de linguagem). Mas não pára por aí. Oscar Greenberg atribuiu aos quarks uma propriedade semelhante à carga elétrica, só que ao invés de dois estados (positivo e negativo) existem três. A solução escolhida foi a distinção pela propriedade *cor*: *red*, *green* e *blue*. Nesse contexto:

Entram as "cores" dos quarks. Quarks azuis, vermelhos e verdes existem em cada sabor. Eles juntam-se para formar partículas incolores - de modo

⁷¹ No original: *Gell-Mann called them "quarks," after a read through of James Joyce's Finnegans Wake and the nonsense poem, "Three quarks for Muster Mark."*

⁷² Wolfgang Ernst Pauli (1900 - 1958), físico austríaco, ganhador do Nobel de Física (1945).

⁷³ No original: *The different combination of quarks gave them a different mass. This combination of charge and mass, as well as a few more esoteric qualities, make up the "flavor" of each quark. As to why they can't just be called "types" — perhaps we should ask James Joyce.*

análogo como muitas luzes coloridas diferentes se misturam para formar uma luz branca incolor⁷⁴ (idem, ibidem).

A cor, assim como a carga elétrica, é a natureza da matéria. Nem todas partículas são *coloridas*, como quarks. Léptons (que podem ser elétron, múon, tau, elétron neutrino, múon neutrino e tau neutrino), por exemplo, são *brancos*. Veja que:

No final das contas, os quarks são tão misteriosos porque suas propriedades não são nada parecidas com as que experimentamos no macromundo e, ainda assim, eles recebem nomes de propriedades com as quais estamos perfeitamente familiarizados. Essa tradução entre cores como as vemos e cores, como algo extraído de resultados matemáticos e experimentais, é desorientador. A melhor maneira de entender os quarks é entender que, em vez de serem exóticos, eles servem como uma forma de organizar e simplificar o vasto mundo subatômico⁷⁵ (idem, ibidem).

Enfim, os cientistas poderiam ter optado por termos *neutros* como propriedade 1 e propriedade 2, ao invés de sabor e cor, mas cientistas são humanos e, nesse caso, talvez tenham preferido uma analogia mais cotidiana. Outro uso imemorial de analogia é em astronomia ao nomear as constelações em função de seus formatos (boa sorte ao tentar ver ursas, dragão, girafa, lince etc. no céu estrelado!). Todavia, isso não quer dizer que tenha sido comprometida a almejada objetividade descritiva do fenômeno.

Além disso, as analogias são particularmente úteis quando estamos em esferas mais contraintuitivas. A física newtoniana *faz mais sentido* do que a mecânica quântica, porque nós interagimos com objetos macroscópicos. No extremo oposto, Feynman⁷⁶ famosamente disse que "se você acha que entende mecânica quântica, você não entende mecânica quântica⁷⁷". Uma explicação complementar

⁷⁴ No original: *Enter the "colors" of quarks. Blue, red, and green quarks exist in each flavor. They get together to form colorless particles — analogous to the way many different colored lights blend together to form a colorless white light.*

⁷⁵ No original: *No final das contas, os quarks são tão misteriosos porque suas propriedades não são nada parecidas com as que experimentamos no macromundo e, ainda assim, eles recebem nomes de propriedades com as quais estamos perfeitamente familiarizados. Traduzir entre uma cor como a vemos e uma cor, como um modo de ser ditado por resultados matemáticos e experimentais, é desorientador. A melhor maneira de entender os quarks é entender que, em vez de serem exóticos, eles servem como uma forma de organizar e simplificar o vasto mundo subatômico.*

⁷⁶ Richard Phillips Feynman ForMemRS (1918 – 1988), físico teórico norte-americano, ganhador do Nobel de Física em 1965.

⁷⁷ No original: *if you think you understand quantum mechanics, you don't understand quantum mechanics.*

possível é a antiga noção de conhecimento incorporado (*embodied knowledge*) que Piaget utilizou para demonstrar como crianças utilizam informação sensorial/motora para iniciar o processo de desenvolvimento cognitivo. Em suas próprias palavras:

A partir daí, todo dado externo é percebido como uma função dos esquemas sensório-motores e é esta incessante assimilação que confere a todas as coisas significados que permitem implicações de todos os graus⁷⁸. (PIAGET, 1965, p. 407.)

Não convém entrar em minúcias da teoria aqui, entretanto é importante frisar que há fecundos estudos que demonstram que tal se dá também na fase adulta. Aliás, o processo cognitivo via conhecimento adquirido por meio de dados sensoriais/motores permanece durante toda a vida. Vejamos o que dizem os estudos mais contemporâneos:

Na última década, as teorias da cognição incorporada tornaram-se cada vez mais influentes com pesquisas que demonstram que as experiências sensório-motoras estão envolvidas no processamento cognitivo; no entanto, essa pesquisa da incorporação focou principalmente na cognição adulta. A noção de que a experiência sensório-motora é importante para a aquisição de conhecimento conceitual não é um conceito novo para pesquisadores sobre desenvolvimento (...) ⁷⁹ (WELLSBY; PEXMAN, p. 1).

Por tais motivos, os primeiros *experimentos* que fazemos, ainda bebês, são com o nosso próprio corpo. Descobrimos a força da gravidade intuitivamente mexendo nossos braços e pernas no berço. Isso tudo é para justificar que, em alguma medida, a ciência poderá fazer uso de analogias e aproximações justamente para melhor ajustar o fenômeno à forma humana de fazer sentido do mundo - que em grande medida é sensorial e motora (talvez por este motivo quarks tenham sabores e cores - aprofundaremos este estudo em: 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras.*)

⁷⁸ No original: *Thereafter every external datum is perceived as function of the sensorimotor schemata and it is this incessant assimilation which confers on all things meanings permitting implications of every degree.*

⁷⁹ No original: *Over the past decade, theories of embodied cognition have become increasingly influential with research demonstrating that sensorimotor experiences are involved cognitive processing; however, this embodied research has primarily focused on adult cognition. The notion that sensorimotor experience is important for acquiring conceptual knowledge is not a novel concept for developmental researchers (...)*

Em todo caso, é importante fixar nesse ponto que a ciência foi concebida para ser a forma mais objetiva de avaliar os fenômenos do mundo, mas ainda assim as explicações devem fazer sentido para mentes humanas - que certamente não são sistemas informáticos processando linguagens binárias. Somos mais complicados. Isso quer dizer que a noção de verdade está comprometida? Pensamos que não. O mais importante, ressaltamos, é que o ataque antirrealista parece não ser bem-sucedido, a um porque não dão uma melhor explicação para o sucesso da ciência e a dois, porque as melhores teorias do presente têm sido corroboradas e, no limite, aprimoradas, mas não (frequentemente) refutadas.

Kukla traz um *insight* interessante sobre esse ponto na discussão: “É reconhecido que realistas razoáveis tenham que admitir que as nossas melhores teorias atuais são bem-sucedidas. Mas mesmo assim, eles não precisam admitir que as melhores teorias do passado eram bem-sucedidas⁸⁰” (1998, p. 16). Isso ajuda a colocar a discussão em seus eixos. Realistas não estão comprometidos em justificar teorias do passado que se mostraram falsas. A defesa realista é sobre as melhores teorias vigentes, surgidas em ciências já maduras, e no já falado mecanismo autocorretivo da ciência (que garante o progresso) - e que veremos em mais detalhes em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*.

Park também contribui ao debate mostrando como o argumento antirrealista pode sair pela culatra. Em seus próprios termos:

Os antirrealistas têm apresentado propostas problemáticas sobre o sucesso da ciência. Por esse motivo, devemos ser pessimistas sobre os antirrealistas. Os pessimistas estão errados sobre suas teorias científicas atuais nos últimos cem anos ou mais. Por esse motivo, devemos ser pessimistas quanto aos pessimistas⁸¹ (2017, p. 11).

Sim, a ciência é um sucesso e as melhores teorias do presente são fruto de ramos científicos já maduros - embora ramos razoavelmente recentes apresentem potenciais promissores de progresso como, por exemplo, a mecânica quântica e a teoria da relatividade. Antirrealistas têm falhado em justificar o sucesso

⁸⁰ No original: “it’s been conceded that reasonable realists have to admit that our best current theories are successful. But they still don’t have to admit that the best theories of the past were successful”.

⁸¹ No original: *Antirealists have been advancing problematic proposals concerning the success of science. For this reason, we should be pessimistic about antirealists. Pessimists have been wrong about their present scientific theories for the past one hundred years or so. For this reason, we should be pessimistic about pessimists.*

da ciência e também em seu pessimismo sobre o colapso das teorias atuais. Ao invés de refutações de teorias falsas, têm sido mais comum pequenos ajustes nas teorias para aumentar a aproximação da verdade - como logo mais veremos em 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras.*

3.3.5. Os ramos das ciências amadurecem

A ciência amadurece, se especializa e novos ramos vão surgindo. Esses novos ramos continuam comunicando-se com os ramos originários (vide 3.3.7. *Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo.*). O conhecimento científico é compartilhado de forma abrangente, os ramos são apenas recortes que, por questão metodológica, lidam com especificidades e ajudam a acelerar o desenvolvimento científico e tecnológico. Agregam-se esforços em tarefas específicas para solucionar determinadas questões especialmente complicadas e melhorar o esquema conceitual.

É claro que há percalços, contudo. No caso do modelo padrão da teoria da força eletrofraca, por exemplo:

As equações básicas da teoria unificada descrevem corretamente a força eletrofraca e suas partículas associadas portadoras de forças, a saber, o fóton e os bósons W e Z, exceto por uma grande falha. Todas essas partículas emergem sem massa. Embora isso seja verdade para o fóton, sabemos que W e Z têm massa, quase 100 vezes a de um próton. Felizmente, os teóricos Robert Brout, François Englert e Peter Higgs fizeram uma proposta para solucionar esse problema. O que chamamos agora de mecanismo de Brout-Englert-Higgs dá massa a W e Z quando eles interagem com um campo invisível, agora chamado de "campo de Higgs", que permeia o universo⁸² (CERN, 2020).

A grande questão é que outros teóricos disputam qual é o melhor modelo para explicar o fenômeno e tal se dá porque nenhuma teoria foi precisa o suficiente para *encaixar* com os dados empíricos coletados. (Curiosamente, em palestra de

⁸² No original: *The basic equations of the unified theory correctly describe the electroweak force and its associated force-carrying particles, namely the photon, and the W and Z bosons, except for a major glitch. All of these particles emerge without a mass. While this is true for the photon, we know that the W and Z have mass, nearly 100 times that of a proton. Fortunately, theorists Robert Brout, François Englert and Peter Higgs made a proposal that was to solve this problem. What we now call the Brout-Englert-Higgs mechanism gives a mass to the W and Z when they interact with an invisible field, now called the "Higgs field", which pervades the universe.*

2002, Hawking⁸³ asseverou que o modelo padrão seria adequado para todas as razões práticas por, pelo menos, cem anos⁸⁴.) Em julho de 2012, a CERN (sigla em francês de Conselho Europeu de Pesquisa Nuclear - *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) localizou uma partícula com a massa de cerca de 125 GeV, que estava na faixa que eles estavam procurando. O problema? Nenhuma teoria foi capaz de prever exatamente qual seria a massa da partícula. Nesses casos limítrofes, onde a ciência não está suficientemente madura e há sucessivas novas descobertas, por um lado os progressos são maiores. Contudo, por outro lado há mais ansiedade e um movimento contínuo de construção e reconstrução das teorias para desenvolver uma melhor descrição dos fenômenos. A ciência é um processo contínuo, mesmo porque novos ramos científicos não nascem já maduros. E como podemos saber se dado ramo científico já encontra-se em um estágio maduro? É difícil dizer. Talvez defensores do flogisto, do calórico ou do éter luminífero considerassem suas teorias maduras, mas a verdade é que tais teorias nunca foram confirmadas empiricamente. Olhando em retrospecto é fácil perceber que os cientistas ainda estavam tateando em busca de melhores explicações e representações dos fenômenos. Veremos mais desenvolvimentos a seguir.

3.3.6. Teorias aceitas pela comunidade são aproximadamente verdadeiras

A ciência busca a verdade, ou melhor, descrições verdadeiras dos fenômenos e da realidade, com a maior objetividade possível. Nesse contexto, é natural que os ataques antirrealistas mire, sobretudo, em ramos ainda em franco desenvolvimento. Nesses casos os esquemas conceituais ainda não estão fechados, pois novas descobertas devem ser acomodadas nas teorias. A mecânica quântica é um ramo científico extremamente bem sucedido empiricamente, entretanto parece ainda caber ajustes em seu modelo conceitual. A maioria dos cientistas da área acredita que novas partículas e campos ainda serão descobertos - algo que tem acontecido com alguma frequência nas últimas décadas. Em todo caso, especialmente em seu estágio mais inicial, havia viva controvérsia sobre o estágio de desenvolvimento da Mecânica Quântica, como se vê:

⁸³ Stephen William Hawking (1942 -2018), físico teórico e cosmólogo britânico.

⁸⁴ No original: *The standard model seems to be adequate for all practical purposes, at least for the next hundred years* (HAWKING, 2002, p. 2).

A mecânica quântica é talvez o exemplo mais óbvio do século XX de controvérsia sobre a inteligibilidade científica. (...) como resultado, o universo veio a aparecer como um reino estranho e contra-intuitivo de imprecisão e imprevisibilidade, no qual os paradoxos se tornaram a norma e a causalidade deixou de dominar⁸⁵ (DEAR, 2006, p. 141).

Dizer que a mecânica quântica é ininteligível pode soar exagerado, mas no começo do século passado eram comuns os ataques que lhe negavam o caráter de ciência e até mesmo que questionassem seu valor instrumental. A celeuma era tão viva que dois cientistas proeminentes, Einstein e Bohr⁸⁶, ambos laureados com o prêmio Nobel de Física, tomaram lados opostos no debate. Einstein entendia que o mundo subatômico era tão previsível e regido por causalidades quanto o mundo macroscópico e que a Mecânica Quântica só era probabilística e acausal, porque a teoria ainda precisava ser melhor desenvolvida. Resultante direta dessa celeuma é o paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) (publicado por EINSTEIN *et al.*, 1935) que, em um elaborado experimento mental, tenta demonstrar uma contradição interna entre o princípio da incerteza de Heisenberg⁸⁷ e as medições em estado de entrelaçamento. (Mais tarde Einstein endossaria a teoria das causas ocultas de David Bohm⁸⁸ [1952a e 1952b], ou seja, haveria um mecanismo oculto [ainda] não descoberto pela teoria - vide explicação completa sobre o paradoxo em FINE, 2020). O paradoxo também tem sua dificuldade, pois só há paradoxo se forem aceitas as premissas da Teoria da Relatividade Geral e como já falamos, as teorias não foram até hoje unificadas.

No mesmo ano de 1935, Schrödinger⁸⁹ publica "Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik" (em português: "A presente situação em Mecânica Quântica" - consultamos a versão em inglês de John D. Trimmer)". O famoso experimento mental conhecido como "gato de Schrödinger", pretende

⁸⁵ No original: *Quantum mechanics is perhaps the most obvious example from the twentieth century of controversy over scientific intelligibility. (...) as a result, the universe came to appear as a strange, counterintuitive realm of imprecision and unpredictability, in which paradoxes became the norm and causality ceased to hold sway.*

⁸⁶ Niels Henrik David Bohr (1885 - 1962), físico dinamarquês, laureado com o prêmio Nobel de Física em 1922.

⁸⁷ Werner Karl Heisenberg (1901 - 1976), físico teórico alemão, laureado com o Nobel de Física em 1932.

⁸⁸ David Joseph Bohm (1917 - 1992), físico estadunidense.

⁸⁹ Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887 - 1961), físico teórico austríaco, laureado com o prêmio Nobel de Física em 1933.

demonstrar o absurdo da chamada *interpretação de Copenhague* de Bohr, Heisenberg e companhia. A história vai assim:

Pode-se até construir casos bastante ridículos. Um gato é aprisionado em uma câmara de aço, junto com o seguinte dispositivo (que deve ser protegido contra interferência direta do gato): em um contador Geiger há uma pequena porção de uma substância radioativa, tão pequena, que talvez no decorrer de uma hora um dos átomos decaia, mas também, com a mesma probabilidade, talvez nenhum; se isso acontecer, o tubo contador se descarrega e através de um relé libera-se um martelo que estilhaça um pequeno frasco de ácido cianídrico. Se deixarmos todo este sistema entregue a si mesmo por uma hora, dir-se-ia que o gato ainda vive se por enquanto nenhum átomo decaiu. A função ψ de todo o sistema expressaria a situação como estando o gato vivo e morto (perdoem a expressão) misturados ou espalhados em partes iguais⁹⁰ (SCHRÖDINGER, 1980, p. 157).

Schrödinger quer combater a ideia de que haveria no sistema uma superposição de estados, abrangendo uma miríade de valores, que somente seria colapsada com a medição - que, por sua vez, é apenas probabilística. Já os adeptos da interpretação de Copenhague, Bohr em especial, não viam problemas nas previsões probabilísticas da Mecânica Quântica, pois estas seriam irreduzíveis vez que os eventos são acausais por natureza. Para eles a Física não deveria ir além da confirmação empírica. Em suas próprias palavras: “Na verdade, o programa de Galileu para basear a descrição dos fenômenos físicos em quantidades mensuráveis forneceu uma base sólida para o ordenamento de um campo de experiência cada vez maior”⁹¹ (BOHR, p. 1).

Bohr alegava coisas contraintuitivas, como: “Foi argumentado em detalhes (Howard, 1994) que Bohr apontou que partes do dispositivo de medição podem às vezes ser tratadas como partes do objeto na descrição da mecânica

⁹⁰ No original: *One can even set up quite ridiculous cases. A cat is penned up in a steel chamber, along with the following device (which must be secured against direct interference by the cat): in a Geiger counter there is a tiny bit of radioactive substance, so small, that perhaps in the course of the hour one of the atoms decays, but also, with equal probability, perhaps none; if it happens, the counter tube discharges and through a relay releases a hammer which shatters a small flask of hydrocyanic acid. If one has left this entire system to itself for an hour, one would say that the cat still lives if meanwhile no atom has decayed. The ψ -function of the entire system would express this by having in it the living and dead cat (pardon the expression) mixed or smeared out in equal parts.*

⁹¹ No original: *Indeed, Galileo's programme to base the description of physical phenomena on measurable quantities has afforded a solid foundation for the ordering of an ever larger field of experience.*

quântica⁹² (FAEY, 2019). Ou ainda, em ataque direto ao realismo científico por nós aqui proposto, que: “O formalismo da mecânica quântica não fornece aos físicos uma representação *pictórica* (...) a informação obtida através desses vários experimentos esgota todo o conhecimento objetivo possível do objeto⁹³” (idem, *ibidem*).

A explicação é que:

O que ele (Bohr) não acreditava era que o formalismo da mecânica quântica era verdadeiro no sentido de que nos dava uma representação literal (“pictórica”) em vez de simbólica do mundo quântico. Faz muito sentido caracterizar Bohr em termos modernos como uma realista de entidade que se opõe ao realismo teórico (Folse 1986; Faye 1991)⁹⁴ (idem, *ibidem*).

A posição de Bohr não é o que defendemos aqui. Acreditamos que teorias como as da Mecânica Quântica trazem descrições verdadeiras sobre acontecimentos presentes na realidade. Acreditamos que as entidades descritas pelas teorias existem tal qual descritas. Nesse ponto, segue oportuna explicação sobre o realismo de entidade:

O realismo de entidade é uma forma de realismo científico seletivo, alegando que nossa interação causal com entidades não observáveis, como moléculas de DNA e átomos, justifica nossa crença na existência de entidades não observáveis. Ao contrário do realismo científico padrão, segundo o qual devemos acreditar na verdade aproximada de nossas teorias mais bem-sucedidas empiricamente, o realismo de entidade endossa o ceticismo com respeito à verdade de nossas teorias. O que justifica nossa crença em entidades inobserváveis não é a verdade das teorias que as postulam, mas nossa capacidade de interagir causalmente com essas entidades e usá-las para intervir em outros fenômenos⁹⁵ (IVANOVA, 2020).

⁹² No original: *It has been argued in detail (Howard 1994) that Bohr pointed out that parts of the measuring device may sometimes be treated as parts of the object in the quantum mechanical description.*

⁹³ No original: *The quantum mechanical formalism does not provide physicists with a ‘pictorial’ representation (...) the information gained through these various experiments exhausts all possible objective knowledge of the object.*

⁹⁴ No original: *What he did not believe was that the quantum mechanical formalism was true in the sense that it gave us a literal (‘pictorial’) rather than a symbolic representation of the quantum world. It makes much sense to characterize Bohr in modern terms as an entity realist who opposes theory realism (Folse 1986; Faye 1991).*

⁹⁵ No original: *Entity realism is a form of selective scientific realism, claiming that our causal interaction with unobservable entities, such as DNA molecules and atoms, justifies our belief in the existence of unobservable entities. Contrary to standard scientific realism, according to which we should believe in the approximate truth of our most empirically successful theories, entity realism endorses skepticism with respect to the truth of our theories. What warrants our belief in unobservable entities is not the truth of the theories that postulate them but our ability to causally interact with these entities and use them to intervene in other phenomena.*

Vale lembrar que defendemos que as teorias científicas possuem valor semântico e as melhores teorias científicas são aproximadamente verdadeiras e, por corolário lógico, a descrição do átomo, por exemplo, é aproximadamente verdadeira. A ciência não é apenas uma ferramenta útil. A ciência é um processo que busca descrições verdadeiras das entidades e dos eventos estudados. De qualquer maneira, novas ideias, como a de que o observador ocasiona o colapso da onda, trouxeram incertezas para uma área que sempre buscou certezas. Se levamos a sério que a realidade quântica seja aleatória e acausal, em última análise, não há realidade objetiva. Einstein, entretanto, rejeitava consistentemente a noção de que a mecânica quântica necessitava de acausalidade na natureza (conf. DEAR, 2006, pp. 159/160): “Deus não joga dados”, disse. A implicação disso é que:

Einstein queria que a física falasse sobre um mundo que existisse independentemente do observador humano (...) que seria absoluto e não relativo às capacidades e limitações humanas. Um físico marciano, pode-se dizer, culminaria com a mesma imagem científica do mundo que sua contraparte terrestre. Bohr, ao contrário, insistia no papel ativo do cientista na criação do conhecimento do mundo: (...) A verdade científica era relativa à natureza da cognição e compreensão humanas⁹⁶ (DEAR, 2006, pp. 163-164).

Atualizando a discussão, primeiramente é fácil notar que os avanços recentes já possibilitam um melhor entendimento e que há inúmeras e fecundas aplicações práticas em mecânica quântica. Contudo, não podemos considerá-la já uma ciência madura, pois ainda há vários conceitos em disputa - vide o há pouco citado modelo padrão da teoria da força eletrofraca (conf. 3.3.5. *Os ramos das ciências amadurecem*). Como enfatizamos em vários pontos, a objetividade é sempre preferível, entretanto haverá certas conformações, especialmente em áreas de vanguarda, em que a ciência ainda não domina suficientemente o esquema conceitual.

⁹⁶ No original: *Einstein wanted physics to speak about a world that existed independently of the human observer (...) that would be absolute rather than relative to human capacities and limitations. A Martian physicist, one might say, should end up with the same scientific picture of the world as its terrestrial counterpart. Bohr, by contrast, insisted on the active role of the scientist in creating knowledge of the world: (...) Scientific truth was relative to the nature of human cognition and understanding.*

Em todo caso, parece possível dizer que as melhores teorias atuais são aproximadamente verdadeiras e possuem referentes reais no mundo. Nos ramos científicos mais maduros, por certo, a objetividade é maior e conseqüentemente a aproximação da verdade idem. De resto, o comprometimento realista, como apontaremos no próximo e final item, é que conceitos como elétrons, fruto de uma ciência madura, apontam para algo real e objetivo no mundo.

3.3.7. Termos de teorias científicas são referentes e, portanto, apontam para algo (real) no mundo

Podemos (em alguma medida) resumir o pensamento em uma simples pergunta: elétrons existem? Certamente a discussão é mais abrangente, mas o realismo apostará que elétrons - e tantos outros conceitos científicos das melhores teorias vigentes - são algo real no mundo. Para uma melhor concretude das ideias, a pergunta que se impõe aqui é a seguinte: imaginemos uma civilização alienígena, habitando um planeta rochoso, que orbita uma estrela em algum ponto em nosso massivo universo, tão ou mais tecnologicamente avançada que a civilização terráquea. É razoável supor que, dadas as inúmeras possibilidades de que seja possível a vida surgir e evoluir até o aparecimento de seres inteligentes, que estes extraterrestres sejam muito diferentes, fisicamente e mesmo cognitivamente. É bem provável que pensem e se comuniquem de forma completamente díspar da nossa - mas aqui nossa história é deveras especulativa, visto que o único exemplo que conhecemos de vida inteligente o suficiente para construir civilizações de exploradores espaciais é a humana, sendo que do gênero humano, a única espécie (ainda) não extinta é o *homo sapiens*. Então, é possível que os indivíduos dessa civilização hipotética não sejam humanóides, como os personagens de *Star Trek*, com diferenças físicas pouco acentuadas, como orelhas pontudas etc. Que se dirá de suas estruturas mentais?! (Parafrazeando Nagel, “what is like to be an alien?⁹⁷”) De toda sorte, se são capazes de mandar sondas ou espaçonaves ao espaço, então forçosamente devemos concluir que possuam uma metalurgia - ou conhecimento de outros materiais que façam as vezes dos metais para construção da aparelhagem - sofisticada e, para tal, conheçam a tabela periódica - mesmo que organizada de

⁹⁷ Brinca-se com o influente artigo de Thomas Nagel “What is like to be a bat?” (como é ser um morcego?) acerca da consciência.

forma diversa - de trás para frente. Mais, eles necessitarão de fontes de energia e, para tal mister, deverão ter conhecimento científico do que nós humanos compartimentamos na Física e Química para entender as interações atômicas etc. Finalmente, chegamos na pergunta: essa civilização alienígena hipotética e avançada poderá aventurar-se fora de seu planeta sem ter o conceito de elétrons?

É elementar que formularão esses conceitos de forma (literalmente) alienígena, ou seja, o modelo (*framework*) será diferente do que usamos, mas se, de alguma forma, houver similitude suficiente para que os conceitos sejam traduzíveis (intercambiáveis), estaremos utilizando o mesmo conceito científico (mesmo referente). E aqui chegamos de fato à pergunta relevante: é inevitável “descobrir” o elétron para desenvolver tecnologia aeroespacial - ou qualquer tecnologia suficientemente avançada? Se a resposta for afirmativa, como cremos, a concepção realista da ciência é correta. Se, por outro turno, a resposta for negativa, pois os elétrons seriam apenas construtos sociais que por algum casuísmo inventamos e que, por outro feliz casuísmo, se prestam a atender nossas necessidades teóricas e práticas, a concepção antirrealista está correta (e o sucesso da ciência é um milagre).

Do exposto, um dos grandes trunfos do realismo - e no sentido oposto, dificuldade das teorias antirrealistas - é explicar de que forma é possível que nossas melhores teorias científicas tenham tanto sucesso em fazer previsões detalhadas e acuradas empiricamente, criar tecnologias cada vez mais avançadas, demonstrar causalidade de fenômenos etc., sem recorrer ao argumento do milagre. Noutros termos, para realistas tal sucesso se dá, na exata medida que as melhores teorias científicas são verdadeiras e descrevem o mundo, seus fenômenos e suas leis como realmente são - ou, no mínimo, com muita precisão - do contrário, tal resultado seria improbabilíssimo, quase um milagre.

No fim das contas, teorias antirrealistas da cepa do construtivismo social científico defendem que o conhecimento científico não está imune às pressões e fatores sociais e, por consequência, em diferentes sociedades as teorias também divergem epistemologicamente, construindo o conhecimento de forma diversa. Essa visão, naturalmente, conflita com o que aqui defendemos, pois as teorias científicas não têm tanta plasticidade, uma vez que buscam explicações verdadeiras e (tanto

quanto possível) objetivas (mais desenvolvimentos em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*). Outra crítica contra o realismo que não podemos concordar é que: “O fato de os termos centrais de uma teoria possuírem um referente não significa que ela será bem-sucedida; e o sucesso de uma teoria não garante a alegação de que todos ou a maioria de seus termos centrais tenham um referente”⁹⁸ (LAUDAN, 1981, p. 47). De fato, há contraexemplos de teorias com algum sucesso empírico, mas que não descreviam corretamente o fenômeno, como a teoria da vibração do éter, que vimos em 3.1.3. *Porque há dúvida sobre o progresso da ciência?* Não obstante, teorias como a descrição da gravidade pela Teoria da Relatividade Geral trazem em seu bojo um detalhamento incomparável e que tem sido confirmado em escalas inimagináveis, como vimos em 2. TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO. Além disso, diversos entes descritos na teoria foram detectados e confirmados, como os buracos negros, mas também pulsares, ondas gravitacionais etc. Entes como o éter, naturalmente nunca foram e nem poderiam ter sido encontrados. Comparar teorias abandonadas como a do éter com teorias maduras como a da Relatividade não faz o menor sentido. Isso tanto do ponto de vista do nível de detalhamento e escalas confirmadas com teste empíricos, da quantidade de entes previstos e confirmados (referentes, portanto) e mesmo da aceitação pela comunidade científica. Teorias como a da Relatividade Geral foram amplamente testadas e confirmadas em testes dos mais variados, teorias como flogístico, terraplanismo, geocentrismo, lamarckismo, geração espontânea, teoria corpuscular da luz foram invalidadas, pois suas descrições e/ou entidades não existem e naturalmente nunca puderam ser detectadas. É preciso algum grau de entendimento das teorias do ponto de vista científico para perceber o que estamos aqui falando, contudo, e talvez por isso, alguns filósofos parecem jogar teorias muito diferentes na vala comum do ceticismo.

De qualquer forma, nunca há garantia absoluta, pois o método científico não é dogmático, mas a filosofia realista, pelo menos, leva a sério os referentes das teorias bem-sucedidas. Mesmo porque, como demonstramos com o argumento de Park (em 3.3.4. *Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*), a previsão pessimista dos antirrealistas não tem se concretizado. Como já discutimos em 3.3.2. *A ciência não é um sucesso por*

⁹⁸ No original: *The fact that a theory's central terms refer does not entail that it will be successful; and a theory's success is no warrant for the claim that all or most of its central terms refer.*

acaso, teorias bem-sucedidas como a relatividade geral de Einstein e a gravitação universal de Newton tratam do mesmo fenômeno chamado *gravidade* (mesmo referente) e, (também) por isso, são bem-sucedidas.

Uma possível interpretação alternativa, muito defendida e discutida na Filosofia da Ciência, é de Kuhn, como se vê:

... os referentes físicos desses conceitos einsteinianos não são de forma alguma idênticos aos dos conceitos newtonianos que levam o mesmo nome. (A massa newtoniana é conservada; a einsteiniana é conversível com energia. Apenas em velocidades relativas baixas os dois podem ser medidos da mesma maneira e, mesmo assim, não devem ser concebidos como iguais.)⁹⁹

Não podemos concordar com Kuhn que os referentes de “massa” nas descrições das teorias de Newton e Einstein apontem para coisas diferentes no mundo, mesmo que as descrições sejam diferentes. Aliás, se o fenômeno fosse descrito da mesma forma, seria a mesma teoria. Neste sentido, em caso análogo, conforme a lição de Frege, “A referência de ‘Estrela Vespertina’ e ‘Estrela da Manhã’ seria a mesma (o planeta Vênus), mas não o Sentido”¹⁰⁰ (2009, p. 51). É o que se dá aqui, o termo *massa* certamente possui sentido diferente para Newton e Einstein, mas mesmo assim, o referente é o mesmo e a descrição do último é melhor, pois é uma verdade mais aproximada.

Kuhn, nesse sentido, parece filiar-se à teoria descritiva da linguagem, pois como as descrições de massa de Newton e Einstein são diferentes, estar-se-ia diante de entes distintos. Saul Kripke (1980) tem outra abordagem. O filósofo estadunidense apoia-se em duas teses: (1) em língua natural nomes próprios são designadores rígidos, ou seja, individualizam um ente específico de forma rigorosa, sem margem para dúvidas; e (2) que há uma cadeia causal que liga símbolos do nome a outros símbolos do nome regressando até o batismo do nome, assim, uma vez nomeado, haveria uma vinculação causal entre o ente e seu nome.

⁹⁹No original: *the physical referents of these Einsteinian concepts are by no means identical with those of the Newtonian concepts that bear the same name. (Newtonian mass is conserved; Einsteinian is convertible with energy. Only at low relative velocities may the two be measured in the same way, and even then they must not be conceived to be the same.)*

¹⁰⁰No original: *“The Reference of “Evening Star” and “Morning Star” would be the same, but not the Sense.*

Kripke demonstra que teorias descritivas enfrentariam dificuldades em um ambiente de lógica modal, ou seja, numa semântica de mundos possíveis. Por exemplo, o nome “Aristóteles” nos remete a uma pessoa específica no mundo e não a propriedades desse ente, ao contrário do que diriam os descritivistas. Imaginemos um mundo possível (semântica de Kripke) onde o famoso filósofo grego não tivesse sido professor de Alexandre o Grande, que ele não tivesse estudado filosofia, ou mesmo que tivesse sido atropelado por uma carruagem aos dois anos de idade. Quais seriam as utilidades, nesse mundo possível, das descrições dadas a esse nome?

Acompanhe:

(1) Aristóteles morreu aos dois anos.

(2) O filósofo que foi discípulo de Platão e foi mentor de Alexandre morreu aos dois anos.

Claramente, a proposição (1) faz sentido, mas a proposição (2) não. Não é possível trocar o nome Aristóteles pela sua descrição: o filósofo que foi discípulo de Platão e foi mentor de Alexandre. Nesse mundo possível onde Aristóteles morreu aos dois anos, não haveria tempo hábil para ele ter sido discípulo de Platão e nem mentor de Alexandre. As descrições não apontariam a pessoa nenhuma (ou talvez apontasse a outra pessoa). Para resolver essa inconsistência, Kripke defende que *nomes são designadores rígidos*, pois são dispositivos que rigidamente escolhem um indivíduo por entre mundos possíveis. Além disso, nós associamos nomes a cadeias causais. O indivíduo Aristóteles foi batizado como “Aristóteles”, mas esse nome não é fixado por uma descrição e sim por uma cadeia causal que está ligada ao uso do nome para se referir a um determinado indivíduo histórico. Dessa maneira, “Aristóteles” ainda designaria Aristóteles, mesmo num mundo em que ele tenha morrido aos dois anos de idade.

Ademais, Kripke considera que comumente as pessoas associam descrições erradas aos nomes causando ainda mais embaraços às teorias descritivas. Uma pessoa poderia substituir o nome “Einstein” pela descrição “o inventor da bomba atômica”, algo que ele não fez - ou, como Newton, dizer que a massa é conservada. Ou não compreender bem a descrição. Note a evidente

circularidade se alguém se referir ao nome “Einstein” como o “inventor da Teoria da Relatividade” e perguntando “o que é a Teoria da Relatividade?” respondesse: “a teoria inventada por Einstein”. Assim: o inventor da Teoria da Relatividade inventou a Teoria da Relatividade. Nesse caso uma teoria descritivista lidaria com a ausência de informação relevante. Da mesma forma, mesmo que Newton e Einstein tenham dado descrições diferentes para o ente massa, o nome “massa” é um designador rígido que individualiza o ente e somente ele, por meio de uma cadeia causal que regressa até o batismo do nome.

De resto, não podemos concordar com Kuhn que os referentes de “massa” nas descrições das teorias de Newton e Einstein apontem para coisas diferentes no mundo, mesmo que as descrições sejam diferentes. Kuhn (e Newton) estão errados: Kuhn adotou uma teoria da referência descritivista (falsa) e Newton descreveu equivocadamente o ente "massa".

De qualquer maneira, levando em conta tudo o que foi discutido aqui, pensamos que uma teoria bem-sucedida necessita mais do que sucesso empírico. Ela deve também apresentar um esquema conceitual abrangente e com suficiente poder explicativo. Deve ainda ser avaliada semanticamente como aproximadamente verdadeira (até mesmo para poder, se for o caso, ser falseada). Por todos esses motivos, teorias bem-sucedidas dialogam, em graus variados, entre si (novamente, vide 3.3.2. *A ciência não é um sucesso por acaso*) compartilhando explicações e *referentes*. É fundamental para nossa tese compreender que a ciência é um processo em construção e com advento de novas tecnologias e mais acúmulo de conhecimento, é de se esperar das teorias atuais ainda mais sucesso do que das teorias de outrora.

3.4. A Seleção Pelas Melhores Teorias

Como já avultamos em 3.2. *O Realismo Científico*, o campo científico é deveras competitivo. Nesse sentido, a pressão é maior pelo dissenso. Experimentos incoerentes com a teoria vigente tendem a gerar maior impacto, pois obrigam a reconsiderar o esquema conceitual em voga e reexplicar os fenômenos. Sobre o desacordo entre os cientistas, temos interessante estudo de Solomon que nos diz:

Os cientistas frequentemente discordam uns dos outros. A discordância pode ser curta ou permanente, localizada ou extensa. (...) As discordâncias dos cientistas são, no entanto, muitas vezes profundas (não devido a um simples erro corrigível) e de longa duração¹⁰¹ (2001, p. 65.).

Tratando do tema da distribuição de esforço de pesquisa, Solomon oferece um argumento pragmático para o incentivo do dissenso, *in verbis*:

De fato, na última década, houve interesse na distribuição do esforço de pesquisa (...) Os cientistas muitas vezes têm a oportunidade de explorar inúmeras direções de pesquisa potencialmente bem-sucedidas e é mais eficiente fazer isso quando indivíduos diferentes, ou grupos, perseguem diferentes teorias ou estratégias ao mesmo tempo¹⁰². (Idem, *ibidem*.)

Discordando com a tese central de Solomon sobre a melhor política de distribuição de esforço de pesquisa, mas concordando com o ponto que nos interessa de perto aqui (sobre o importância do dissenso científico), temos Rolin e Wray, nos seguintes termos:

“Suas tentativas (dos cientistas) em cultivar a dissidência podem ser justificadas pelo simples empirismo clássico, que afirma que uma teoria científica é digna de ser perseguida na medida em que tenha algum sucesso empírico^{103 104}” (2008, p. 79).

¹⁰¹ No original: *Scientists frequently disagree with one another. The disagreement can be short lived or permanent, localized or extensive. (...) Scientists' disagreements are, however, often profound (not due to simple correctable error) and long lasting.*

¹⁰² No original: *Indeed, in the last decade, there has been interest in the distribution of research effort (...) Scientists often have the opportunity to explore a number of potentially successful directions of research, and it is most efficient to accomplish this when different individuals, or groups, pursue different theories or strategies at the same time.*

¹⁰³ No original: *Their attempts to cultivate dissent can be justified by plain old fashioned empiricism which claims that a scientific theory is worthy of pursuit insofar as it has some empirical successes.*

¹⁰⁴ Relembramos o lema da Royal Society: “nullius in verba” e a exortação em “verificar todas as afirmações apelando a fatos determinados por experimentos” (conf. 3.2.1. *O que é o Método Científico?*).

Outro ponto é que, como diz Poincaré, às vezes, “as ruínas (da teoria) podem ainda ser úteis para algo”¹⁰⁵ (1905, p. 178), noutras a reconstrução será (praticamente) total. Nesse mesmo espírito, em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO* demonstramos como a Teoria da Relatividade Geral têm sido exaustivamente testada nos últimos cento e poucos anos, especialmente pela sua incompatibilidade matemática com a Mecânica Quântica, mas tem resistido. Obviamente, a competição não é apenas entre as teorias. Cientistas, laboratórios, universidades, centros de pesquisas etc. também competem pela primazia em medições que poderão confirmar ou refutar teorias, ou ainda por medições mais precisas. (Como exemplo, tem-se a emocionante corrida pela descoberta do glúon entre o Positron Electron Project - PEP, na Stanford Linear Accelerator Center - SLAC, na Califórnia, e o Positron-Electron Tandem Ring Accelerator, PETRA, da DESY, na Alemanha, vencida pelos alemães em 1979 - conf. DESY, 2020, e CERN, 2019.) Competem também pelas melhores explicações, pela maior previsibilidade e pelo maior potencial em gerar tecnologia.

No lado oposto, a colaboração entre cientistas e centros de pesquisas é praticamente obrigatória hoje em dia (o mapeamento do genoma humano levado a cabo pelo Human Genome Project - HGP, por exemplo, teve a participação de centros de pesquisas dos Estados Unidos, Reino Unido, França, Alemanha, Japão e China, inclusive várias universidades - conf. NIH, 2020). Experimentos científicos de ponta são caros e pedem abordagens em diversos campos - como ciência teórica, experimental, engenharia etc. - e os orçamentos não acompanham nem de longe as demandas (inacreditavelmente, ciência não é prioridade!). Campos importantes para a compreensão da realidade, mas ainda sem utilidade prática/econômica direta dependem praticamente apenas de recursos dos contribuintes de impostos - e investir em ciência, infelizmente, (ainda) não garante popularidade para os políticos.

Se defendemos, como é o caso, com base no realismo científico, que a ciência progride formulando melhores teorias que são aproximadamente verdadeiras, pois descrevem mais adequadamente a realidade, devemos explicar (em alguma medida) como se dá esse progresso. Mas antes, temos que sublinhar que o progresso científico é não linear e não é teleológico. A ciência progride de forma quase errática. É muito difícil fazer previsões de como estarão campos

¹⁰⁵ No original: *the ruins may be still good for something.*

científicos nos próximos, digamos, dez anos. Quase ninguém foi capaz de prever a revolução tecnológica que a internet causaria nas comunicações - e em praticamente todos os aspectos sociais. De outra banda, muitos previam progressos mais céleres da Biologia Molecular em desvendar os mecanismos do DNA (sigla para *deoxyribonucleic acid* ou ácido desoxirribonucleico, em português). O artigo seminal de Watson e Crick que apresentou ao mundo as duplas hélices do DNA foi publicado em 1953 e:

Sessenta anos depois, a própria definição de "gene" é calorosamente debatida. Não sabemos o que a maior parte do nosso DNA faz, nem como, ou em que medida rege as características. Em outras palavras, não entendemos totalmente como a evolução funciona no nível molecular (BALL, 2013. p. 419)¹⁰⁶.

O mesmo se deu com a dita *Era Espacial* e mais de cinquenta anos após o primeiro ser humano dar *um grande salto para a humanidade* na superfície da Lua, esta continua sendo o único corpo celeste extraterreno em que houve pouso tripulado. (Correndo atrás do prejuízo, a Nasa pretende começar a exploração de Marte na década de 2030 - vide NASA, 2014.) De todo modo, mesmo em ritmos variados, os ramos da ciência progredem, mas como podemos aferir esse progresso? As principais métricas para avaliar o progresso científico, segundo pensamos, já deixamos entrever acima, são: incrementos no *poder explicativo*, no *poder preditivo* e *tecnológico*, além de melhores *medições*.

3.4.1. O que significa ter melhor poder explicativo?

Em nossa visão realista da ciência, defendemos que as explicações científicas devem ser *específicas* e *verdadeiras*. Não acreditamos em *mentiras úteis* (como em algumas teses céticas/utilitaristas). Uma explicação científica deve ser uma boa descrição/explicação do fenômeno e deve ser verdadeira. Nesse sentido, melhorar o poder explicativo passa necessariamente pelo progresso epistêmico e também pelo progresso semântico (mais desenvolvimentos em 4. O PAPEL DA TECNOLOGIA). As novas pesquisas devem ser capazes de (eventualmente)

¹⁰⁶ No original: *Sixty years on, the very definition of 'gene' is hotly debated. We do not know what most of our DNA does, nor how, or to what extent it governs traits. In other words, we do not fully understand how evolution works at the molecular level.*

produzir melhores esquemas conceituais e melhores descrições dos fenômenos e da realidade. O que não passa necessariamente pela substituição da teoria, mas muitas vezes pela atualização da mesma frente a novas descobertas empíricas ou mesmo avanços teóricos (veja, por todas, que a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin, foi completada pelos trabalhos de Gregor Mendel¹⁰⁷, Watson e Crick e outros; ainda, a Teoria da Relatividade Geral que tem um grau altíssimo de acuidade, mas traz na explicação sobre *singularidade* uma aparente dificuldade teórica). A nova teoria, especialmente em um campo recente da ciência, idealmente deve ter plasticidade suficiente para se adequar aos novos dados e para ser melhorada sem que, por outro lado, seja vaga ou genérica. Sendo assim, o progresso científico é comumente pouco previsível, como um quebra-cabeças que vai sendo montado aos poucos, com grupos de peças às vezes juntando-se distantes uns dos outros, formando *ilhas de conhecimentos*. Quando determinado ramo da ciência progride e torna-se maduro, poderá ser o caso que apenas algumas peças não estejam devidamente encaixadas, mas já seja possível uma visão satisfatória e compreensiva dos fenômenos e das entidades. É possível ainda que o progresso se dê apenas (ou principalmente) no campo conceitual (sem ganho empírico), com explicações mais simples e compreensíveis do fenômeno, como veremos a seguir.

3.4.1.1. A busca por explicações mais simples

Por mais paradoxal que seja, a simplicidade na ciência é uma questão complexa. Primeiramente, poder-se-ia argumentar que a simplicidade está na melhor forma de representar a realidade; não na realidade em si. As leis naturais não são necessariamente simples, todavia a teoria deve explicar o fenômeno da forma mais simplificada possível. Vejamos que o famoso físico Albert Einstein, criador da Teoria da Relatividade, disse certa vez: “Difícilmente se pode negar que o objetivo supremo de toda teoria é tornar os elementos básicos irreduzíveis tão simples e tão poucos quanto possível, sem ter que renunciar à representação adequada de um único dado

¹⁰⁷ Gregor Johann Mendel (1822 - 1884), biólogo e botânico austríaco.

da experiência”¹⁰⁸ (1934, p. 165). Ou, como muitas vezes o pensamento é resumido, a teoria deve ser o *mais simples possível, mas não simplificada*. Em sentido semelhante, Poincaré pontua que: “Não obstante, cada proposição pode ser generalizada em infinitas maneiras. Devemos escolher, dentre todas as generalizações possíveis, a mais simples”¹⁰⁹ (1905, p. 146).

Em outra ocasião, Einstein disse: “Eu tenho uma profunda fé que o princípio do universo será bonito e simples”¹¹⁰ (Ask a Mathematician / Ask a Physicist, 2012). Primeiramente, talvez não haja um princípio universal nem simples e nem complicado. E questões estéticas à parte, parece existir uma noção geral partilhada por vários cientistas de simplicidade presente na natureza e em suas leis. Veja que Newton, por exemplo, defendia a tese que as explicações deveriam ser simples porque a natureza obedeceria a leis simples. Em suas palavras: “Hipótese 1: Não devem ser admitidas mais causas das coisas naturais do que as verdadeiras e suficientes para explicar seus fenômenos. A natureza é simples e não cede ao luxo de causas supérfluas”¹¹¹ (1686, p. 240). De igual forma, Copérnico e seus sucessores Rheticus, Galileo, e Kepler todos enfatizavam a simplicidade como a principal vantagem do modelo heliocêntrico em detrimento ao geocentrismo ptolomaico (conf. Fitzpatrick, 2021, que por sua vez cita para uma discussão mais completa sobre o tópico: Glymour, 1980; Rosencrantz, 1983; Forster and Sober, 1994; Myrvold, 2003; Martens, 2009). Fitzpatrick adverte: “No entanto, historiadores da ciência questionaram até que ponto a simplicidade poderia ter desempenhado um papel genuíno, em vez de puramente retórico, nesse episódio”¹¹² (ou seja, a defesa de Copérnico ao heliocentrismo)” (idem, ibidem). Não obstante, qualquer tenha sido a motivação real de Copérnico, o fato é que ele e demais cientistas citados defendiam um modelo que consideravam mais simples, pois viam uma maior probabilidade de ser fidedigno com o fenômeno natural em si, que deveria ser simples.

¹⁰⁸ No original: *It can scarcely be denied that the supreme goal of all theory is to make the irreducible basic elements as simple and as few as possible without having to surrender the adequate representation of a single datum of experience.*

¹⁰⁹ No original: *But every proposition may be generalised in an infinite number of ways. Among all possible generalisations we must choose, and we cannot but choose the simplest.*

¹¹⁰ No original: *I have deep faith that the principle of the universe will be beautiful and simple.*

¹¹¹ No original: *Hypoth. I. Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quàm quæ & vera sint & earum Phænomenis explicandis sufficiunt.*

Natura enim simplex est & rerum causis superfluis non luxuriat.

¹¹² No original: *However, historians of science have questioned the extent to which simplicity could have played a genuine rather than purely rhetorical role in this episode.*

Talvez essa noção persistente possa ser explicada, em parte, por esquemas conceituais bem construídos e que retratam uma realidade aparentemente simples e intuitiva. Exemplo disso é a disposição sistemática de elementos químicos na tabela periódica. É extraordinário que cento e poucos elementos químicos componham toda a matéria. Todos os elementos químicos existentes no universo têm semelhante estrutura atômica, variando apenas o *número atômico*, ou seja, a quantidade de prótons no núcleo do átomo. A teoria vigente é muito simples e intuitiva para quem se expôs suficientemente ao assunto. Mas continuando a explicação, os átomos dos elementos químicos são compostos por apenas duas partículas elementares da matéria: quarks e elétrons. Mas as descrições já começam a ficar complicadas daí por diante. O Modelo Padrão da Física de Partículas inclui, além dos quarks (divididos em seis sabores, como já vimos em 3.3.4. *Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*), outros férmions: léptons, antiquarks e antileptons. Os léptons podem ser elétron, múon, tau, elétron neutrino, múon neutrino e tau neutrino. Há ainda os bósons: glúons, fótons, bósons W e Z e o bóson de Higgs. Ao todo o modelo padrão prevê dezessete partículas fundamentais (quarks, léptons e bósons) que dão origem a toda matéria, além dos tipos de interações, do universo. Toda?! Na verdade, o modelo padrão não explica cerca de 85% da matéria do universo (conf. National Aeronautics and Space Administration - NASA, 2021), chamada de matéria escura, por não ser detectável (mais sobre o tema em: 5.3. *Indetectável não é Ininteligível*). Também não explica a energia escura que acelera a expansão do universo e contribui com 68% da energia total atual no universo observável (idem, ibidem). Ou seja, há muito trabalho (complicado) pela frente. É bem provável que novas partículas, forças e interações serão descobertas (voltaremos ao tema em 4.1. *A Colaboração Entre Ciência e Tecnologia*) e serão necessárias novas teorias capazes de abarcar todos esses fenômenos. (Uma das discussões muito viva atualmente é se as partículas ou os campos são explicações mais fundamentais sobre a natureza e, portanto, se a descrição última da realidade será dada pela Mecânica Quântica ou pela Teoria Quântica de Campo - conf. SIEGEL, 2019.) De qualquer forma, um dos critérios pela eleição dessas teorias será a simplicidade nas explicações.

Em alguns casos, é difícil dizer se os fenômenos são realmente complicados ou se as melhores teorias disponíveis é que (ainda) não são capazes de dar a explicação mais simples. Se a primeira suposição for correta, então a razão estará com J. B. S. Haldane¹¹³, que disse:

Agora, minha própria suspeita é que o universo não é apenas mais estranho do que supomos, é mais estranho do que podemos supor... Suspeito que haja mais coisas no céu e na terra do que se sonha, ou se pode sonhar, em qualquer filosofia¹¹⁴ (*apud* RATCLIFFE, 2016, p. 730).

Por outro lado, a Mecânica Quântica, por exemplo, por ser um campo científico relativamente recente, não esteja ainda madura o suficiente para apresentar modelos mais claros e precisos. Entretanto, como já enfatizamos, há possivelmente uma tendência (ou talvez seja um desejo) que os fenômenos naturais sejam simples e, sendo assim, tenham explicações simples. Nesse sentido:

Houve um tempo em que a simplicidade da lei de Mariotte¹¹⁵ era um argumento a favor de sua exatidão (...) Hoje em dia, as ideias mudaram consideravelmente; mas aqueles que não acreditam que as leis naturais devam ser simples, ainda são freqüentemente obrigados a agir como se acreditassem¹¹⁶ (POINCARÉ, 1905, p. 162).

O estágio atual da ciência, contudo, certamente não parece ser simples. Teorias são muitas vezes complexas e contraintuitivas causando um distanciamento do *homem comum* ao mundo científico. “Às vezes, é a simplicidade que se esconde sob o que é aparentemente complexo; às vezes, ao contrário, é a simplicidade que é aparente e que esconde realidades extremamente complexas”¹¹⁷ (conf. POINCARÉ, 1905, p. 164). Há, por certo, o risco de elaborar explicações simples para fenômenos complexos e não acomodar detalhes importantes na teoria (na paráfrase de Einstein, como vimos, deve-se tornar simples e não simplificar). Há, por vezes, fatores que

¹¹³ John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964), biólogo britânico nascido na Índia.

¹¹⁴ No original: *Now, my own suspicion is that the universe is not only queerer than we suppose, but queerer than we can suppose...I suspect that there are more things in heaven and earth than are dreamed of, or can be dreamed of, in any philosophy.*

¹¹⁵ O autor se refere à *Lei da compressibilidade dos gases* de Edme Mariotte e Robert Boyle, mais conhecida como *Lei de Boyle* ou *Lei de Boyle-Mariotte*.

¹¹⁶ No original: *There was a time when the simplicity of Mariotte's law was an argument in favour of its accuracy (...) Nowadays, ideas have changed considerably; but those who do not believe that natural laws must be simple, are still often obliged to act as if they did believe it.*

¹¹⁷ No original: *Sometimes it is simplicity which is hidden under what is apparently complex; sometimes, on the contrary, it is simplicity which is apparent, and which conceals extremely complex realities.*

desafiam intuições mais simples, como casos em que o conjunto inteiro é mais simples (em alguns aspectos, pelo menos) do que apenas um de seus membros. Por exemplo, o comportamento de grupos é mais previsível do que o de seus indivíduos. O percentual de decaimento atômico de um conjunto (previsão estatística) é mais previsível do que o decaimento de um átomo específico.

De tudo isso que foi dito, o que podemos extrair com segurança é que mesmo que o modelo vigente seja adequado empiricamente, uma teoria mais simples e com mesma adequação será preferível. É justificável a adoção de novas teorias que apresentem representações mais simples dos fenômenos e conceitos mais precisos e intuitivos (vide *conhecimento incorporado* tratado em: 3.3.4. *Teorias antirrealistas, a contrario sensu, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*) e aí (idealmente) nada há de apreciação estética e sim com questões de ordem lógica.

3.4.1.2. A Navalha de Ockham

A Navalha de Ockham ou princípio da parcimônia tem várias formulações. Provavelmente a mais conhecida é: “As entidades não devem ser multiplicadas além do necessário¹¹⁸” (BAKER, 2016) ou ainda: “Não multiplique entidades além da necessidade¹¹⁹” (SPADE; PANACCIO, 2019). Baron e Tallant dão interessante definição sobre a navalha, nos termos seguintes: “A navalha de Ockham pede que não multipliquemos entidades além do necessário. A navalha é uma ferramenta metodológica poderosa, permitindo-nos articular razões para preferir uma teoria a outra”¹²⁰ (2018, p. 596). Os autores tocam nos dois pontos centrais: na simplicidade interna da teoria (simplicidade ontológica) e na predileção pela teoria mais simples.

Já para Lavoisier seria “um princípio da lógica de não multiplicar desnecessariamente entidades¹²¹” (*apud* BAKER, 2016). Assim, a pressão entre os cientistas para formulação de teorias e explicações mais simples também pode residir no argumento lógico/epistêmico para o qual uma explicação para determinado

¹¹⁸ No original: *Entities are not to be multiplied beyond necessity.*

¹¹⁹ No original: *Don't multiply entities beyond necessity.*

¹²⁰ No original: *Ockham's razor asks that we not multiply entities beyond necessity. The razor is a powerful methodological tool, enabling us to articulate reasons for preferring one theory to another.*

¹²¹ No original: *a principle of logic not to multiply entities unnecessarily.*

fenômeno será mais forte, na medida inversa da quantidade de premissas necessárias para estabelecer o princípio.

Quine, sem nomear a navalha de Ockham especificamente, também faz uma defesa em favor da simplificação das teorias, *in verbis*:

Mas a simplificação e esclarecimento da teoria lógica para a qual uma notação lógica canônica contribui não é apenas algorítmica; também é conceitual. Cada redução que fazemos na variedade de construções constituintes necessárias para edificação das sentenças da ciência é uma simplificação na estrutura do esquema conceitual inclusivo da ciência. Cada eliminação de construções ou noções obscuras que conseguimos alcançar, parafraçando em elementos mais lúcidos, é um esclarecimento do esquema conceitual da ciência¹²² (QUINE, 1960, p. 161).

A simplificação da teoria científica é importante tanto na parte algorítmica da equação, quanto na parte conceitual, como bem apontou o filósofo estadunidense. Em ambos os casos, reduções de partes sobressalentes (como excessos, repetições etc.) e simplificações (como esclarecimentos e diminuições de complexidades desnecessárias) são sempre bem-vindas. Como vimos, a tabela periódica é um excelente exemplo de descrição simples e bem organizada de um recorte da realidade. Nas linhas horizontais os elementos químicos são organizados em ordem crescente de número atômico (quantidade de prótons no núcleo do átomo) e nas colunas por grupos ou famílias com propriedades semelhantes (metais, gases etc.). O esquema é tão bem construído que vários elementos químicos foram previstos, bem como suas respectivas propriedades, antes de serem descobertos experimentalmente (tudo conf. FREUDENRICH, 2021). Voltaremos ao tema com melhores desenvolvimentos em: 4.3. *Novas Tecnologias e Avanços Epistêmicos* e 4.4. *Novas Tecnologias e Avanços Semânticos*.

¹²² No original: “But the simplification and clarification of logical theory to which a canonical logical notation contributes is not only algorithmic; it is also conceptual. Each reduction that we make in the variety of constituent constructions needed in building the sentences of science is a simplification in the structure of the inclusive conceptual scheme of science. Each elimination of obscure constructions or notions that we manage to achieve, by paraphrase into more lucid elements, is a clarification of the conceptual scheme of science”.

3.4.1.3. Explicações mais abrangentes e conexão entre fenômenos

Vale anotar ainda que teorias mais simples acarretaram uma *maior possibilidade de conexão entre os fenômenos*. Nesse particular, existe uma verdadeira tendência na comunidade científica em unificar campos de estudos com uma única teoria, o que de um lado simplificaria a explicação e de outro criaria modelos mais conectados entre si, resultando em maior sintonia científica. Stephen Hawking, outro físico aclamado, relaciona a simplicidade às conexões no campo científico: “Ciência é bonita quando faz explicações simples do fenômeno ou conexões entre diferentes observações. Exemplos incluem a hélice dupla¹²³ na Biologia e as equações fundamentais da Física” (*apud* SAMPLE, 2011).

A simplificação do esquema conceitual abre mais possibilidades para conexão entre fenômenos, o que fortalece a teoria, tornando-a mais abrangente e esclarecedora. Einstein era um dos que manifestava a crença de que a realidade em si é simples e o dever dos cientistas é demonstrar essa simplicidade por meio de simplificações nas teorias e unificação conceitual entre elas. Vejamos:

Embora seja verdade que o objetivo da ciência é descobrir regras que permitam a associação e predição de fatos, este não é o seu único objetivo. Também busca reduzir as conexões descobertas ao menor número possível de elementos conceituais mutuamente independentes. É nessa luta pela unificação racional do múltiplo que ela encontra seus maiores sucessos, embora seja justamente essa tentativa que o faça correr o maior risco de cair vítima de ilusões. Mas quem quer que tenha passado pela intensa experiência do avanço bem-sucedido feito neste domínio, é movido por uma profunda reverência pela racionalidade manifestada na existência¹²⁴ (EINSTEIN, 1940, pp. 606-607).

Assim, diminuindo as conexões internas da teoria, há maior possibilidade de conexões externas entre teorias. Nesse esteio, há um grande esforço global em unificar a Relatividade Geral à Mecânica Quântica (a Relatividade tem problemas para explicar alguns fenômenos, como a singularidade dos buracos negros, como

¹²³ James D. Watson e Francis Crick publicaram, em 1953, um artigo que apresentou a estrutura da dupla hélice do DNA (*deoxyribonucleic acid* - em português: ADN - ácido desoxirribonucleico).

¹²⁴ No original: Although it is true that it is the goal of science to discover rules which permit the association and foretelling of facts, this is not its only aim. It also seeks to reduce the connexions discovered to the smallest possible number of mutually independent conceptual elements. It is in this striving after the rational unification of the manifold that it encounters its greatest successes, even though it is precisely this attempt which causes it to run the greatest risk of falling a prey to illusions. But whoever has undergone the intense experience of successful advance made in this domain is moved by profound reverence for the rationality made manifest in existence.

vimos, e a Mecânica Quântica, tem dificuldade com os fenômenos gravitacionais e forças nucleares [conf. HAWKING, 2002, p. 2]. Uma das propostas para explicação mais fundamental é a teoria das cordas, como veremos em 5.3. *Indetectável não é Ininteligível*). No final das contas, o intuito último é ter uma teoria de tudo, simples, elegante e universal. Nesse sentido, Hawking cita ainda outro motivo para buscar a teoria completa: controle. Em suas palavras: “A verdadeira razão de estarmos buscando uma teoria completa é que queremos entender o universo e sentir que não somos apenas vítimas de forças obscuras e misteriosas. Se entendemos o universo, então, de certa forma, o controlamos”¹²⁵ (2002, p. 2). O tema sobre uma teoria definitiva é controverso. Ainda segundo Hawking:

Até agora, a maioria das pessoas supôs implicitamente que existe uma teoria definitiva que iremos descobrir. Na verdade, eu mesmo sugeri que poderíamos encontrá-la em breve. (...) Talvez não seja possível formular a teoria do universo em um número finito de afirmações. Isso lembra muito o teorema de Gödel. Ele diz que qualquer sistema finito de axiomas não é suficiente para provar todos os resultados matemáticos¹²⁶ (idem, ibidem, p. 4).

Para entender melhor o argumento, faz-se necessária uma explicação lateral sobre os chamados Teoremas da Incompletude de Gödel:

Os dois teoremas da incompletude de Gödel estão entre os resultados mais importantes na lógica moderna e têm profundas implicações para várias questões. Eles dizem respeito aos limites de comprovação em teorias axiomáticas formais. O primeiro teorema da incompletude afirma que em qualquer sistema formal consistente F dentro do qual uma certa quantidade de aritmética pode ser realizada, existem declarações da linguagem de F que não podem ser provadas nem refutadas em F . De acordo com o segundo teorema da incompletude, tal sistema formal não pode provar que o próprio sistema é consistente (assumindo que seja de fato consistente)¹²⁷ (RAATIKAINEN, 2020).

¹²⁵ No original: *The real reason we are seeking a complete theory, is that we want to understand the universe and feel we are not just the victims of dark and mysterious forces. If we understand the universe, then we control it, in a sense.*

¹²⁶ No original: *Up to now, most people have implicitly assumed that there is an ultimate theory that we will eventually discover. Indeed, I myself have suggested we might find it quite soon. (...) Maybe it is not possible to formulate the theory of the universe in a finite number of statements. This is very reminiscent of Godel's theorem. This says that any finite system of axioms is not sufficient to prove every result in mathematics.*

¹²⁷ No original: *Gödel's two incompleteness theorems are among the most important results in modern logic, and have deep implications for various issues. They concern the limits of provability in formal axiomatic theories. The first incompleteness theorem states that in any consistent formal system F within which a certain amount of arithmetic can be carried out, there are statements of the language of F which can neither be proved nor disproved in F . According to the second incompleteness theorem, such a formal system cannot prove that the system itself is consistent (assuming it is indeed consistent).*

A relação, contudo, entre os teoremas e a Física não é óbvia, mas Hawking explica:

Qual é a relação entre o teorema de Gödel e se podemos formular a teoria do universo em termos de um número finito de princípios? Uma conexão é óbvia. De acordo com a filosofia positivista da ciência, uma teoria física é um modelo matemático. Portanto, se existem resultados matemáticos que não podem ser provados, existem problemas físicos que não podem ser previstos¹²⁸ (idem, ibidem, p. 5).

É importante esclarecer, todavia, que muitos cientistas crêem ser a unificação entre Relatividade e Mecânica Quântica fadada ao fracasso e, com mais razão, uma unificação ainda mais abrangente seria impossível (conf. EINSTEIN, 1917; WEINBERG, 1993; CLOSE, 2006. Em sentido contrário: MAX PLANCK INSTITUTE, 2013; THE PHYSICS ARXIV BLOG, 2020). (Novamente, mais detalhes em 5.3. *Indetectável não é Ininteligível*.) Hawking diz que acreditava na chamada Teoria de Tudo, mas recapitulou em razão dos Teoremas de Gödel (idem, ibidem, p. 6). Também crendo que os teoremas tornam a Teoria de Tudo impraticável: Stanley Jaki (1966), Freeman Dyson (2004). Em sentido contrário, julgando os teoremas inaplicáveis à Teoria de Tudo: Jürgen Schmidhuber (1997), Solomon Feferman (2009), Douglas S. Robertson (2007).

Essa é uma tendência insistente no mundo científico. A título de ilustração, por muito tempo o magnetismo e a eletricidade foram estudados como fenômenos distintos, o que de fato são, até que os cientistas unificaram o campo de estudo deste ramo da Física, a partir do conceito de campo eletromagnético, com o nome de Eletromagnetismo¹²⁹. (Oersted¹³⁰ observou que um fio eletrificado interferia no ponteiro de uma bússola. Ao saber do achado, Faraday¹³¹ intuiu que, se uma

¹²⁸ No original: *What is the relation between Godel's theorem and whether we can formulate the theory of the universe in terms of a finite number of principles? One connection is obvious. According to the positivist philosophy of science, a physical theory is a mathematical model. So if there are mathematical results that can not be proved, there are physical problems that can not be predicted.*

¹²⁹ Essa tendência de unificação prossegue, tanto que modernamente já se fala em *força eletrofraca* (garantindo um Nobel a Abdus Salam e Stephen Weinberg) que é a descrição unificada de duas das quatro forças fundamentais: eletromagnetismo e a força nuclear fraca (deixando *ainda* de fora a força gravitacional e força nuclear forte), abrangendo os fenômenos da eletricidade, magnetismo e alguns tipos de radiações (vide HAWKING, 2002, p. 2).

¹³⁰ Hans Christian Ørsted (1777 - 1851), físico e químico dinamarquês.

¹³¹ Michael Faraday (1791 - 1867), físico e químico britânico.

corrente elétrica poderia criar um campo magnético, então um campo magnético deveria ser capaz de gerar correntes elétricas, conf. THOMPSON, 2017. Maxwell¹³², Hertz¹³³ e muitos outros também deram importantes contribuições nesse campo de estudo.) Ou seja, magnetismo e eletricidade são fenômenos distintos, mas a íntima relação existente entre eles possibilita uma maior compreensão dos mecanismos atuantes quando estudados conjuntamente, com conseqüente avanço tanto na parte algorítmica, que possibilita maior conformação empírica, quanto na parte conceitual, eliminando entidades duplicadas e possibilitando uma descrição mais precisa do fenômeno. (No mesmo esteio, a termodinâmica uniu a Física e a Química; Newton uniu, com explicações mais abrangentes dos fenômenos, a Mecânica e a Astronomia.) É sem dúvida uma *simplificação no sentido de aclaração*, embora possa-se argumentar que torne a explicação mais complexa, mas somente no sentido de que a explicação torna-se mais abrangente, pois são aglutinadas mais partes. O saldo final é positivo, pois mais fenômenos são explicados com menos entidades. Qualquer que seja o caso, parece haver ganho no esquema conceitual e ainda há um forte argumento para o aumento em nossa compreensão da realidade como um todo.

Então, mesmo com todas as dificuldades expostas, parece ser um fato empiricamente demonstrável, por indução, que o incremento no poder explicativo é um critério relevante para a escolha das melhores teorias. O conhecimento científico progressiva e naturalmente simplifica explicações e converge áreas de estudo - embora eu prefira deixar as minúcias das confirmações desses e muitos outros exemplos para estudiosos da História da Ciência -, com vistas a aumentar a objetividade, clareza e o detalhamento em sua ontologia descritiva. Vale ressaltar que a descrição de uma teoria científica vai além de mera matematização das regularidades que se prestam, sobretudo, à confirmação empírica. Como veremos na próxima subseção, teorias científicas possuem uma dimensão metafísica. Estas investigações metafísicas podem ir além de aspectos empíricos da teoria.

¹³² James Clerk Maxwell (1831 - 1879), físico e matemático britânico.

¹³³ Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894), físico alemão.

3.4.2. O que significa ter maior poder preditivo?

Uma teoria pode ainda ter maior poder preditivo. Isso é importante porque a predição confirmada empiricamente é uma confirmação (sempre provisória) da teoria científica. É bem conhecida a (radical) lição de Popper, sobre o tema, razão pela qual tomaremos emprestadas as palavras do filósofo austríaco:

O modo como o conhecimento progride, e especialmente nosso conhecimento científico, é por antecipações injustificadas (e injustificáveis), por suposições, por tentativas de solução para nossos problemas, por **conjecturas**. Essas conjecturas são controladas pela crítica; isto é, por tentativas de **refutações**, que incluem testes severamente críticos. Elas (as conjecturas) podem sobreviver a esses testes; mas elas nunca podem ser positivamente justificadas: elas não podem nem ser estabelecidas como certamente verdadeiras, nem mesmo como 'prováveis' (no sentido do cálculo de probabilidade)¹³⁴ (1962, VIII - prefácio).

Nós damos um peso maior à confirmação empírica, embora não disputemos que a confirmação, isoladamente, nunca terá grande poder de generalização. Não obstante, quanto mais confirmações empíricas independentes, com métodos e tecnologias diferentes, (provavelmente) maior será a acuidade da descrição do fenômeno pela teoria e, conseqüentemente, seu poder preditivo. Para Popper, no entanto, não estamos autorizados a dar declarações universais baseadas em fatos singulares (ou seja, não importa quantos cisnes brancos vejamos, não estaremos autorizados a declarar que todos os cisnes são brancos). Assim: "A questão de saber se as inferências indutivas são justificadas, ou em que condições, é conhecida como o problema da indução"¹³⁵ (2005, p. 4).

Na conhecida lição de Hume: "Digo então que, mesmo depois de termos experiência das operações de causa e efeito, nossas conclusões dessa experiência não são fundamentadas no raciocínio, ou em qualquer processo de compreensão"¹³⁶ (1777, p. 28). No final das contas, o filósofo escocês quer demonstrar que não há

¹³⁴ No original: The way in which knowledge progresses, and especially our scientific knowledge, is by unjustified (and unjustifiable) anticipations, by guesses, by tentative solutions to our problems, by **conjectures**. These conjectures are controlled by criticism; that is, by attempted **refutations**, which include severely critical tests. They may survive these tests; but they can never be positively justified: they can neither be established as certainly true nor even as 'probable' (in the sense of the probability calculus).

¹³⁵ No original: *The question whether inductive inferences are justified, or under what conditions, is known as the problem of induction.*

¹³⁶ No original: *I say then, that, even after we have experience of the operations of cause and effect, our conclusions from that experience are not founded on reasoning, or any process of the understanding.*

como tirar conclusões seguras sobre eventos futuros baseadas em experiências passadas e isso afetará diretamente o poder preditivo das teorias científicas.

Voltando a Popper: “Minha opinião é que as várias dificuldades da lógica indutiva aqui esboçadas são intransponíveis”¹³⁷ (idem, ibidem, p. 6). No entanto, isso deixaria de ser importante para a ciência, pois ele nega o papel probabilístico da indução na investigação científica e defende o que ele chama de “método dedutivo de testagem” (idem, ibidem, p. 7). Resumidamente, as previsões da hipótese devem passar por um teste empírico, do contrário a hipótese é falseada, num processo puramente dedutivo. Nós, por outro lado, defendemos que o método científico utiliza-se tanto do raciocínio dedutivo quanto da indutivo (como vimos em 3.1.1. *Sobre o que vamos falar?*). A indução é uma importante etapa do método científico, pois as hipóteses apresentadas pelas teorias científicas são suportadas indutivamente pelas evidências (como também vimos em 3.1.1. *Sobre o que vamos falar?*). Do contrário, todas as hipóteses ainda não testadas empiricamente (e lembramos que às vezes a tecnologia disponível não possibilita testar algumas previsões teóricas) estariam em igualdade de condições. É interessante que, por um lado, a cognição humana fia-se fortemente na noção de *evidências* (dados, premissas), afetando diretamente a credibilidade das hipóteses (teorias, conclusões). Por outro lado, em circunstâncias usuais, o raciocínio baseado em evidências deve ser entendido sempre como falível (conf. CRUPI, 2020), eis que apenas probabilístico.

Em todo caso, conforme Mill, “significando por predição, a determinação das condições sob as quais fatos semelhantes são esperados a ocorrer novamente”¹³⁸ (1882, p. 369). Notadamente, quanto mais riscos o autor da teoria assumir, prevendo com máxima riqueza de detalhes e ainda prevendo fenômenos aparentemente improváveis, mais força probante terá a teoria quando de sua confirmação empírica¹³⁹.

¹³⁷ No original: *My own view is that the various difficulties of inductive logic here sketched are insurmountable.*

¹³⁸ No original: *meaning by prediction, the determination of the conditions under which similar facts may be expected again to occur.*

¹³⁹ Aqui o raciocínio indutivo mostra sua força, na chamada teoria da confirmação, especialmente na abordagem probabilística (bayesiana). Vejamos: “Na teoria de confirmação bayesiana, a evidência *E* é vista como possivelmente aumentando ou diminuindo a probabilidade inicial de uma hipótese de preocupação *H*” (CRUPI; FESTA; BUTTASI, 1970, p. 74).

No original: *In Bayesian confirmation theory, evidence “E” is seen as possibly increasing or decreasing the initial probability of a hypothesis of concern “H”.*

Já demonstramos em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO* que a Teoria da Relatividade Geral tem um poder preditivo absurdo. Fenômenos são descritos em escalas colossais e ínfimas com imensa acuidade e, até onde cientistas foram capazes de fazer medições, houve confirmação empírica. Na mesma seção vimos como novas tecnologias possibilitam confirmação dos fenômenos previstos em teorias (mais aprofundamentos em 4.1. *A Colaboração Entre Ciência e Tecnologia*), bem como avanços epistêmicos muitas vezes insuspeitos. A Teoria da Relatividade Geral também previu acontecimentos improváveis como curvatura da luz e espaço, ondas gravitacionais etc. Nesse sentido, é bem conhecida a posição de Popper sobre a importância da teoria fazer previsões ousadas e que os testes empíricos devem ser desenvolvidos para tentar refutar essas previsões. Em suas palavras:

Tentei mostrar que o conteúdo científico de uma teoria é tanto maior quanto mais a teoria transmite, quanto mais ela se arrisca, quanto mais ela está exposta à refutação por experiências futuras. Se a teoria não correr esses riscos, seu conteúdo científico é zero - não há conteúdo científico, ele é metafísico¹⁴⁰ (1962, p. 334, nota 13).

Sim, teorias devem fazer previsões não banais, pois vemos a confirmação empírica como a força probante da teoria. E mais ainda, preferencialmente, já antever possibilidades de testabilidade, mesmo que ainda não haja tecnologia desenvolvida para construir os aparatos necessários. Contudo, pela explicação de Popper faz parecer que teorias que fazem previsões arriscadas tenham conteúdo científico e, *contrario sensu*, teorias que não se arriscam sejam metafísicas. Para nós, não existe essa dicotomia entre conteúdo científico e metafísico das teorias. De todo modo, muitas vezes cientistas e engenheiros projetarão experimentos originais e insuspeitos ao tempo em que a teoria é apresentada ao mundo que poderão confirmar ou refutar as previsões feitas.

Outras vezes a teoria até faz previsões ousadas, mas leva um tempo maior para ser ajustada. A Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural é um claro exemplo de hipótese incompleta (havia mecanismos ocultos que Darwin com honestidade admitira - ele não conhecia os trabalhos de seu contemporâneo

¹⁴⁰ No original: *I have tried to show that the scientific content of a theory is the greater the more the theory conveys, the more it risks, the more it is exposed to refutation by future experience. If it takes no such risks, its scientific content is zero--it has no scientific content, it is metaphysical.*

Gregor Mendel sobre genes -, embora em edições posteriores de *On The Origins of Species*, ao tentar responder algumas críticas, ele tenha piorado a teoria). Mas suas ideias centrais (todas formas de vida estão relacionadas, as espécies sofrem pressão pela seleção natural e mudam, surgindo novas espécies que poderão substituir as antigas etc.) são fundamentais para compreensão da vida no planeta e a teoria tem sido não só corroborada por diversos experimentos, como completada por várias pesquisas. (Vale a pena conferir um panorama simplificado em RAFFERTY, 2020.)

Algumas vezes a dificuldade estará na testabilidade direta das previsões da teoria (mais desenvolvimentos em 5.2. *Corroboração Empírica Indireta e Estatística*). Conforme Mill, algumas vezes a verificação direta é impossível e haverá apenas a verificação indireta, que terá menos valor (1882, p. 1103). Em 5.1. *O que Conta como Observável?* veremos que nem sempre é fácil dizer o que conta como observável. Na verdade, cientistas, de modo geral, darão pouca importância a essas technicalidades - dirão, talvez, que trata-se de mera *investigação metafísica*. A verdade é que entidades como átomos, elétrons e quarks já estão incorporados ao panteão científico e salvo algum experimento muito bem feito e com dados inconciliáveis, que traga uma grande ruptura, dificilmente a teoria será abandonada. Sobre a detecção direta e indireta, conversei com o Dr. Daniel O. Whiteson, professor de Física e Astronomia na Universidade da Califórnia, colaborador no experimento ATLAS do Large Hadron Collider (LHC) e podcaster (*Daniel e Jorge Explain the Universe pela iHeart Radio*, Inc.) por e-mail. Segue um trecho da conversa:

Acho que é muito difícil se convencer de que há muita diferença entre:

“O experimento é consistente com o modelo” (ou seja, os dados sugerem que os quarks estão lá, mesmo que eles nunca possam ser isolados)

e

“Eu posso ver essa coisa”

Porque “ver” é na verdade apenas outro aparato físico filosoficamente idêntico ao experimento do primeiro caso. Acho que é apenas mais familiar e melhor alinhado com a nossa intuição e, por isso, estamos mais inclinados a dar o salto (sem suporte) de “os dados suportam” para “é real de alguma forma profunda”.

Eu acho que a MAIORIA dos físicos de partículas pensa pouco sobre isso e acredita que todas as partículas são "reais", embora também não as vejamos diretamente¹⁴¹. (WHITESON, 2020.)

Há casos em que a teoria é atualmente intestável e nunca é possível saber se um dia haverá tecnologia para testá-la. A teoria das cordas (na verdade há várias), como veremos em 5.3. *Indetectável não é Ininteligível*, têm grande poder explicativo, mas apresenta desafios talvez intransponíveis para sua testabilidade. Uma das dificuldades, pode ser assim resumida:

As cordas são muito pequenas para serem detectadas usando a tecnologia atual - mas alguns argumentam que vale a pena perseguir a teoria das cordas, independentemente dos experimentos poderem ou não medir seus efeitos, simplesmente porque parece ser a solução "certa" para muitos dilemas¹⁴² (CASTELVECCHI, 2015).

Segundo pensam os cientistas (conf. BECKER et al., 2007, p. 7), as cordas devem ter cerca de 10^{-33} centímetros de extensão. Isso é um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um centímetro. Muitas escalas de magnitude além do que os microscópios mais potentes são capazes de visualizar. Os microscópios ópticos permitem observar objetos tão pequenos quanto 0,2 micrômetros (0,2 mil de um milímetro ou 2×10^{-5} centímetros), enquanto os microscópios eletrônicos mais poderosos nos permitem ver objetos tão pequeno quanto um átomo (cerca de um décimo milionésimo de um milímetro ou 1 angstrom ou 10^{-8} centímetros) (conf. Science Learning Hub, 2021). Ou seja, é possível que nunca sejamos capazes de ver uma corda. Outro problema da teoria é a dificuldade em usá-la para fazer previsões com testabilidade empírica. (Para discussões abrangentes, WOIT, 2006 e ELLIS; SILK, 2014.)

¹⁴¹ No original: *I think it's really hard to convince yourself that there's much of a difference between: "the experiment is consistent with the model" (ie the data suggest quarks are in there, even if they can never be isolated) and "I can see this thing"*
Because "seeing" is really just another physical apparatus philosophically identical to the experiment in the first case. I think it's just more _familiar_ and better aligned with our intuition and so we're more inclined to take the (unsupported) leap from "the data supports it" to "it is real in some deep way"
I think that MOST particle physicists give this little thought and think all the particles are "real" even though we don't see them directly either.

¹⁴² No original: *The strings are too tiny to detect using today's technology — but some argue that string theory is worth pursuing whether or not experiments will ever be able to measure its effects, simply because it seems to be the 'right' solution to many quandaries.*

Há, por certo, uma espécie de teste indireto realizado por simulações computacionais. De um modo geral, simulações funcionam assim: primeiramente, será procedida a conceituação do problema (modelagem) e posteriormente será construída uma solução computacional deste problema (simulação) (conf. YIP; DE LA RUBIA, 2009, p. 1). Ainda sobre as simulações:

Esse esforço combinado é único em vários aspectos. Ele permite que praticamente qualquer sistema complexo seja analisado com capacidade preditiva (...) Ele permite a compreensão e visualização de causa-efeito por meio de simulações onde as condições iniciais e de contorno são prescritas especificamente para obter insights. Além disso, ele pode complementar a experiência e a teoria, fornecendo os detalhes que não podem ser medidos nem descritos por meio de equações. Quando essas vantagens conceituais na modelagem são acopladas a um poder de computação sem precedentes por meio de simulação, tem-se um fator vital e uma abordagem científica duradoura destinada a desempenhar um papel central na solução dos problemas formidáveis de nossa sociedade¹⁴³ (idem, ibidem, p. 1).

Mesmo com todas essas vantagens, uma previsão confirmada em uma simulação computacional não é a mesma coisa que um teste empírico no mundo real. A simulação é geralmente considerada um meio do caminho entre a teorização e a experimentação (conf. FRIGG; REISS, 2011, p. 19). Sendo assim, em algumas situações, das simulações poderá ser extraída uma previsão passível de confirmação empírica. De um modo geral, a carga probatória da teoria confirmada apenas na simulação fica muito mais esvaziada, mesmo porque a previsão poderá ser confirmada na simulação, mas não no teste experimental. Isso se dá porque é sempre possível um erro na simulação, quer faltem dados essenciais ou mesmo na alimentação dos valores e variáveis.

Em todo caso, essa impossibilidade potencial de testabilidade da teoria, pelo raciocínio já exposto de Popper, pode transformar a teoria em Metafísica, visto que resultará em uma teoria sobre a realidade desprovida de suporte empírico, uma das características que distinguem as teorias filosóficas das teorias científicas. Na verdade, tanto para teorias com amplo suporte empírico, quanto teorias cujas

¹⁴³ No original: *This coupled endeavor is unique in several respects. It allows practically any complex system to be analyzed with predictive capability (...) It allows the understanding and visualization of cause-effect through simulations where initial and boundary conditions are prescribed specifically to gain insight. Furthermore, it can complement experiment and theory by providing the details that cannot be measured nor described through equations. When these conceptual advantages in modeling are coupled to unprecedented computing power through simulation, one has a vital and enduring scientific approach destined to play a central role in solving the formidable problems of our society.*

previsões (ainda) não puderam ser testadas, a Metafísica é inescapável - e não há nada de errado nisso! A confusão começa pela própria definição do que seja metafísica e quais são seus objetivos. Para Quine, por exemplo (embora sem usar a palavra “metafísica”): “Quando indago sobre os compromissos ontológicos de uma dada doutrina ou corpo teórico, estou apenas perguntando o que, de acordo com essa teoria, existe”¹⁴⁴ (2004, p. 249). Já Strawson, prefere o termo “Metafísica Descritiva” e traz interessante elucidação: “A Metafísica Descritiva se contenta em descrever a estrutura real do nosso pensamento sobre o mundo (...) Com o objetivo de desnudar as características mais gerais de nossa estrutura conceitual”¹⁴⁵ (1959, p. 9).

Assim, pensamos que qualquer que seja a preferência conceitual, não é possível estudar a realidade, definir as entidades que existem (ou não) e explicar como as leis naturais operam sem fazer metafísica. De qualquer forma, todos esses *sabores metafísicos*, causam um grande dissenso na doutrina, como destacamos a seguir:

Seus detratores freqüentemente caracterizam a filosofia analítica como antimetafísica. (...) e, em qualquer caso, seus ataques à metafísica eram eles próprios ancorados em teses (tipicamente teses que expressam uma forma radical de antirrealismo) que não eram menos metafísicas do que as visões que procuravam minar¹⁴⁶ (LOUX; ZIMMERMAN, 2005, p. 1).

No limite, mesmo quem nega a existência da Metafísica, está fazendo um corte ontológico que exclui a metafísica da realidade, ou seja, está fazendo metafísica. Vale lembrar que temas como causação, espaço-tempo, identidade, persistência, continuidade e muitos outros são temas eminentemente metafísicos. De resto, tanto entidades abstratas e obscuras quanto entidades concretas e palpáveis são entidades metafísicas. A consciência é uma entidade metafísica,

¹⁴⁴ No original: *When I inquire into the ontological commitments of a given doctrine or body of theory, I am merely asking what, according to that theory, there is...*

¹⁴⁵ No original: *Descriptive metaphysics is content to describe the actual structure of our thought about the world (...)*

Aiming to lay bare the most general features of our conceptual structure...

¹⁴⁶ No original: *Its detractors often characterize analytical philosophy as anti-metaphysical. (...) and in any case, their attacks on metaphysics were themselves anchored in theses (typically theses expressing a radical form of antirealism) that were no less metaphysical than the views they sought to undermine.*

assim como o passarinho que vejo agora na sacada (bem como elétrons, quarks, a gravidade, o espaço, números, formas geométricas... a lista é infindável).

Pelo exposto, ter poder preditivo implica que haja possibilidade de confirmação empírica, quer seja por meio de experimentos controlados ou em observação direta de fenômenos naturais. Teorias com grande poder preditivo são preferíveis, pois, uma vez que foram exaustivamente testadas, presume-se que apresentem boas descrições dos fenômenos.

3.4.2.1. *E as probabilidades?*

Discutimos previamente em 3.3.5. *Os ramos das ciências amadurecem a* discussão entre Einstein, Schrödinger e cientistas de inclinações mais deterministas, de um lado e de outro, Bohr, Heisenberg e os adeptos da interpretação de Copenhague, que endossam teorias probabilísticas em Mecânica Quântica. Aqui a questão principal que veremos é de que forma as probabilidades podem ser acomodadas no poder preditivo das teorias. Mas o que exatamente se entende por probabilidade? Daston define da seguinte forma: “O termo “probabilidade” tem dois significados distintos: pode se referir a um grau de crença ou certeza (probabilidade “epistêmica” ou “subjéitiva”) ou a frequências estatísticas (probabilidade “aleatória” ou “objetiva”)”¹⁴⁷ (2007, p. 802). Intimamente relacionada com a probabilidade é a estatística, razão pela qual é importante defini-las conjuntamente para evitar confusões. Vejamos:

Probabilidade e estatística, são ramos da matemática preocupados com as leis que governam os eventos aleatórios, incluindo a coleta, análise, interpretação e exibição de dados numéricos. A probabilidade tem sua origem no estudo do jogo e dos seguros no século XVII, e agora é uma ferramenta indispensável das ciências sociais e naturais¹⁴⁸ (PORTER, 2021).

¹⁴⁷ No original: *The single term “probability” harbors two distinct meanings: it can refer either to a degree of belief or certainty (“epistemic” or “subjective” probability) or to statistical frequencies (“aleatory” or “objective” probability).*

¹⁴⁸ No original:

Probability and statistics, the branches of mathematics concerned with the laws governing random events, including the collection, analysis, interpretation, and display of numerical data. Probability has its origin in the study of gambling and insurance in the 17th century, and it is now an indispensable tool of both social and natural sciences.

Apesar de ambas serem ramos afins da Matemática, probabilidade e estatística, têm abordagens diferentes, como se vê:

A teoria da probabilidade é um ramo da matemática preocupado com a probabilidade. Probabilidade é uma descrição numérica da probabilidade de um evento. Muitas vezes, ao dizer probabilidade, nos referimos à teoria da probabilidade e não apenas ao número. Isso é compreensível pelo contexto da frase.

A estatística é um ramo da matemática que diz respeito à coleta, organização, exibição, análise, interpretação e apresentação de dados.

A relação entre os dois é que, na estatística, aplicamos a probabilidade (teoria da probabilidade) para tirar conclusões dos dados¹⁴⁹ (MOUSMOULAS, 2019).

Assim, já podemos entender algumas diferenças importantes. A probabilidade é um ramo essencialmente teórico da Matemática que se ocupa da previsão da ocorrência de eventos futuros. Já a estatística é um ramo essencialmente aplicado da Matemática que ocupa-se da análise da frequência dos eventos no passado.

Nosso interesse principal aqui é saber de que forma previsões probabilísticas podem ter adequação empírica e, dessa forma, serem aceitas como boas descrições dos fenômenos aleatórios ou católicos, pois ambos lidam com probabilidade. A previsão do clima, por exemplo, lida com eventos caóticos, pois apesar de ser um sistema determinístico, a falta de informações completas (dados) torna a previsão apenas provável. Se fosse possível isolar todas as variáveis e interações, com suficiente capacidade de processamento, a previsão seria infalível. O decaimento atômico de um átomo é um evento aleatório, dentro de uma determinada escala temporal. É possível apenas calcular a probabilidade de decaimento dos átomos em um sistema x , dentro de um período de tempo t .

Sobre a adequação empírica, Barrett traz o seguinte esclarecimento: “Para julgar se uma teoria é empiricamente adequada, deve-se ter acesso

¹⁴⁹ No original: *Probability theory is a branch of mathematics concerned with probability. Probability is a numerical description of the likelihood of an event. A lot of times by saying probability, we refer to probability theory and not just the number. This is understandable by the context of the sentence. Statistics is a branch of mathematics that concerns the collection, organization, displaying, analysis, interpretation and presentation of data. The relationship between those two is that in statistics, we apply probability(probability theory) to draw conclusions from data.*

epistêmico a registros confiáveis de resultados de medições passadas que podem ser comparados com as previsões da teoria¹⁵⁰ (1996, p. 49). Conforme Delgado adverte: “a mecânica quântica padrão está preocupada principalmente com as distribuições de probabilidade de quantidades mensuráveis em um determinado instante de tempo”¹⁵¹ (1998, p. 762). É importante ressaltar que a Teoria Padrão da Mecânica Quântica é uma das teorias mais bem sucedidas em suas previsões. Além disso, o uso de probabilidades não impede a confirmação empírica. Atentemos, por exemplo, para a técnica de datação por carbono-14. O conceito é simples:

(...) todos os seres vivos absorvem carbono da atmosfera e das fontes de alimentos ao seu redor, incluindo uma certa quantidade de radiação natural na forma de carbono-14. Quando a planta ou animal morre, eles param de absorver, mas o carbono radioativo que eles acumularam continua a se decompor. Medir a quantidade restante fornece uma estimativa de quanto tempo algo está morto¹⁵² (JONES, 2020).

Esta estimativa do tempo pela quantidade de carbono-14 restante é baseada em medições estatísticas do passado e extrapoladas em probabilidades futuras. Se, por um lado, é imprevisível saber quando exatamente um átomo específico decairá (*i.e.* sofrerá desintegração nuclear), pode-se prever, pelo cálculo da probabilidade, em quanto tempo metade dos átomos decairá (a chamada meia vida). Ou seja, nesse caso a previsão estimativa é feita levando-se em conta o cálculo estatístico da probabilidade de decaimento atômico do carbono-14 ao longo do tempo. Essa é apenas uma das inúmeras aplicabilidades práticas consideradas seguras oriundas da Mecânica Quântica. Nesse contexto, Van Fraassen faz uma importante advertência sobre probabilidade:

A probabilidade não é encontrada apenas na física. A teoria da probabilidade é amplamente usada na ciência hoje porque fornece a base para a estatística, e os métodos estatísticos se tornaram uma ferramenta

¹⁵⁰ No original: *In order to judge whether a theory is empirically adequate one must have epistemic access to reliable records of past measurement results that can be compared against the predictions of the theory.*

¹⁵¹ No original: *Standard quantum mechanics is mainly concerned with probability distributions of measurable quantities at a given instant of time.*

¹⁵² No original: *all living things absorb carbon from the atmosphere and food sources around them, including a certain amount of natural, radioactive carbon-14. When the plant or animal dies, they stop absorbing, but the radioactive carbon that they've accumulated continues to decay. Measuring the amount left over gives an estimate as to how long something has been dead.*

importante em todas as ciências, tanto puras quanto aplicadas¹⁵³ (1980, p. 159).

Concordamos com o autor que o uso da probabilidade e a estatística pela ciência é inescapável. No mesmo sentido:

A probabilidade é virtualmente onipresente. Ela desempenha um papel em quase todas as ciências. É a base de grande parte das ciências sociais (...) Ela aparece novamente na filosofia da ciência na análise da confirmação de teorias, explicação científica e na filosofia de teorias científicas específicas, como a mecânica quântica, mecânica estatística, evolucionária biologia e genética¹⁵⁴ (HÁJEK, 2002).

Especificamente na Mecânica Quântica, a importância da probabilidade/estatística pode ser vista, por exemplo, nas estatísticas de Bose-Einstein, nas estatísticas de Fermi-Dirac e nas estatísticas de Maxwell-Boltzmann (conf. DASTON, 2007, p. 802).

Diante disso, basta se ter em mente que previsões estatísticas não são um problema, desde que haja uma quantidade suficiente de entidades para serem medidas, uma vez que assim será possível a confirmação empírica segura da previsão estatística. (Para uma tentativa de acomodar algumas formulações da Mecânica Quântica cuja confirmação empírica é mais controversa, vide BARRETT, 1996.)

3.4.2.2. Dificuldades adicionais em confirmação empírica

A confirmação empírica pode ser mais complicada e controversa em alguns casos. Já enfatizamos que às vezes experimentalistas e engenheiros tentarão formular maneiras de confirmar as previsões de dada teoria. Nem sempre há consenso em como a experimentação metódica deve ser realizada ou, ainda, a

¹⁵³ No original: *Probability is not found only in physics. The theory of probability is widely used in science today because it provides the foundation for statistics, and statistical methods have become a major tool in all the sciences, both pure and applied.*

¹⁵⁴ No original:

Probability is virtually ubiquitous. It plays a role in almost all the sciences. It underpins much of the social sciences (...) It appears again in the philosophy of science in the analysis of confirmation of theories, scientific explanation, and in the philosophy of specific scientific theories, such as quantum mechanics, statistical mechanics, evolutionary biology, and genetics.

controvérsia pode se dar em momento posterior, na interpretação dos resultados. Pode ser o caso ainda que não haja modelos teóricos para acomodar os achados. O que fazer então? Criar um novo modelo, talvez seja a resposta óbvia. Todavia, tal empresa não é tão simples, especialmente se há outros achados conflitantes.

Caso interessante, em que há um pouco de tudo isso, é o DAMA (acrônimo para **DA**rk **MA**tter, *i.e.*, matéria escura). Em 3.4.1.1. *A busca por explicações mais simples* já dissemos que a chamada matéria escura compõe cerca de 85% da matéria existente no universo. O problema é que sabemos pouco sobre ela, uma vez que ela seria (até o momento) inobservável (a única interação percebida é gravitacional). Ou não? Há mais de 20 anos físicos e experimentalistas do INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, na Itália, garantem ter detectado a esquiava matéria escura. Aí começa a controvérsia.

Segundo os próprios responsáveis pelo projeto, segue a descrição técnica do detector:

A DAMA é um observatório de processos raros, desenvolvendo e usando cintiladores altamente radiopuros. Também tem sido uma atividade pioneira na investigação direta de partículas de matéria escura (DM) no halo galáctico. Em particular, a 1ª geração DAMA / NaI (~ 100 kg altamente radiopuro de NaI¹⁵⁵ [TI¹⁵⁶]) apontou ao longo de 7 ciclos anuais (exposição: 0,29 ton x ano) um modelo de evidência independente para a presença de partículas de DM no halo galáctico¹⁵⁷ com alta C.L.^{158 159} (DAMA, 2020).

O projeto, que é uma colaboração ítalo-chinesa, é conduzido em uma caverna subterrânea e continua ativo já em sua terceira geração (a DAMA/NaI teve

¹⁵⁵ NaI é fórmula do iodeto de sódio, sal branco usado para detecção de radiação.

¹⁵⁶ NaI (TI) são cristais cintilantes de iodeto de sódio dopados com tálio de baixa radioatividade.

¹⁵⁷ Halo estelar ou halo estelar galáctico é uma região em torno de galáxias espirais com estrelas dispersas, aglomerados globulares de estrelas e gás rarefeito (conf. Britannica, 2021).

¹⁵⁸ Em Estatística, “O nível de confiança é o valor de probabilidade (1- α) associado a um intervalo de confiança.

Geralmente é expresso como uma porcentagem. Por exemplo, digamos $\alpha = 0,05 = 5\%$, então o nível de confiança é igual a $(1-0,05) = 0,95$, ou seja, um nível de confiança de 95%” (conf. EASTON; MCCOLL, 2021).

No original: *The confidence level is the probability value (1- α) associated with a confidence interval.*

It is often expressed as a percentage. For example, say $\alpha=0.05=5\%$, then the confidence level is equal to $(1-0.05) = 0.95$, i.e. a 95% confidence level.

¹⁵⁹ No original: *DAMA is an observatory for rare processes, developing and using highly radiopure scintillators. It has also been a pioneer activity in the direct investigation of Dark Matter (DM) particles in the galactic halo. In particular, the 1st generation DAMA/NaI (~100 kg highly radiopure NaI(Tl)) pointed out over 7 annual cycles (exposure: 0.29 ton x yr) a model independent evidence for the presence of DM particles in the galactic halo with high C.L.*

sete ciclos anuais - 1995/2002 -, foi substituída pela DAMA/LIBRA, que em 2010 recebeu uma atualização e sua segunda fase continua operacional). Contudo, a última atualização, que aumentou a sensibilidade dos aparelhos, trouxe achados ainda mais controversos. Sem adentrar em technicalidades desnecessárias, em razão da órbita da Terra ao Sol, era esperado um pico nas medições no começo de junho e o menor patamar em dezembro, mas isso não se confirmou (conf. CASTELVECCHI, 2018), sendo os dados inconsistentes com os achados anteriores. Outros experimentos (como o COSINE-100, um experimento dos EUA e da Coreia do Sul no laboratório subterrâneo de Yangyang, na Coreia do Sul; o ANAIS, da Universidade de Zaragoza, na Espanha, no Laboratório Subterrâneo Canfranc nos Pirineus; e especialmente o XENON Dark Matter Search Experiment, também do INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, na Itália), apesar de usarem técnicas ligeiramente diferentes, não conseguiram replicar os achados. Ou seja, nenhum outro experimento detectou dados consistentes com qualquer medição de matéria escura.

A realidade é que apesar dos envolvidos na DAMA estarem bem confiantes em seus achados, o otimismo é pouco compartilhado pela comunidade científica. Além disso, a grande maioria dos físicos não crê que os dados são consistentes o suficiente para abandonar o modelo existente e basicamente não deixar (quase) nada em seu lugar. Há ainda reclamações de que não haveria suficiente transparência sobre os achados do experimento, o que os envolvidos no DAMA negam. Ao fim, trata-se de um experimento de ponta, com tecnologia inovadora, que desperta grande interesse na comunidade científica, numa área em franco amadurecimento, mas talvez ainda leve tempo até que os cientistas depurem as teorias, modelos e achados. Assim, entendemos que a controvérsia é não apenas normal, como salutar, pois demonstra a ebulição intelectual da comunidade científica sobre o tema. (Mais detalhes da controvérsia em: CONNORS, 2019.)

3.4.3. A busca por melhores medições

Vimos em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO* que uma nova técnica, com melhores equipamentos, permitiu uma medição 500 vezes mais precisa do buraco negro em M87, diminuindo a

possível margem de erro da Teoria da Relatividade Geral significativamente. Esse é um caso claro de uso de novas tecnologias e novas técnicas que possibilitam uma melhoria significativa nas medições. A ciência é uma atividade predominantemente empírica, por isso melhores medições são essenciais. Veremos em 4. *O PAPEL DA TECNOLOGIA* que, graças a avanços tecnológicos, tem sido muito comum esse tipo de melhora na acuidade das medições. Isso acarreta em maior confirmação empírica (se necessário, com ajustes na teoria) e no aumento na aproximação da verdade das teorias.

É interessante comentar ainda que atualmente, no mais das vezes, as medições são construídas ao longo do tempo, com acúmulo gradual de dados, muitas vezes estatístico¹⁶⁰. Vimos há pouco em 3.4.2.2. *Dificuldades adicionais em confirmação empírica* que há mais de 22 anos o projeto DAMA acumula dados sobre matéria escura e os achados ainda são altamente controversos. Naturalmente, um efeito colateral benéfico dessas medições demoradas é que, ao longo de tanto tempo, alguns aparelhos se tornam obsoletos e novos equipamentos surgem tornando as medições ainda mais precisas.

Do exposto, é importante ter em mente que a busca por melhores medições, mediante melhorias tecnológicas em aparatos sensíveis ou uso de técnicas inovadoras é indispensável para o avanço do poder preditivo das teorias, pois a demanda por precisão é cada vez maior. Além disso, às vezes a tecnologia é antiga, mas é pensada para um uso específico, sendo necessário que alguém tenha o lampejo inovador. O Raio X inicialmente foi usado principalmente na medicina e hoje é amplamente utilizado em vários campos, como na Astronomia, por exemplo (como veremos em 3.4.4. *Potencial gerador de tecnologia*). Em todo caso, melhores medições possibilitam mais confirmação empírica das previsões das teorias e, quando a teoria é continuamente confirmada empiricamente, haverá um aumento de sua força probante.

¹⁶⁰ Como se dá com os estudos por aceleradores de partículas, como o *Large Hadron Collider - LHC* - da *CERN - Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* -, em que são necessários vários anos de compilação de dados. Em 3.3.5. *Os ramos das ciências amadurecem* e 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO* demos o exemplo do bóson de higgs, teorizado em 1964 e só confirmado definitivamente em 2013. Não houve um achado definitivo, mas formou-se um conjunto de dados compatíveis com um modelo teórico cada vez mais difícil de ser negado.

3.4.4. Potencial gerador de tecnologia

Naturalmente, pesquisas científicas têm potencial díspares em criar tecnologias. Vejamos, o caso da descoberta do Raio X:

Wilhelm Roentgen, professor de física em Wurzburg, na Baviera, descobriu os raios X em 1895 - acidentalmente - enquanto testava se os raios catódicos podiam passar pelo vidro. Seu tubo catódico estava coberto com papel preto grosso, então ele ficou surpreso quando uma luz verde incandescente escapou e foi projetada em uma tela fluorescente próxima.

(...)

Roentgen descobriu rapidamente que os raios X também passariam pelo tecido humano, tornando os ossos e o tecido visíveis. A notícia de sua descoberta se espalhou pelo mundo todo e, em um ano, médicos na Europa e nos Estados Unidos estavam usando raios-X para localizar projéteis de armas de fogo, fraturas ósseas, cálculos renais e objetos engolidos. Recebeu honras por seu trabalho - incluindo o primeiro Prêmio Nobel de Física em 1901 (COLUMBIA SURGERY, 2020)¹⁶¹.

Além de grande aplicação na medicina até os dias de hoje, aparelhos de raio x são instrumentos de segurança indispensáveis em aeroportos, alfândegas e outros locais sensíveis. Ainda, há ampla utilização pela indústria e em pesquisas científicas (são muito utilizados na Astronomia, por exemplo). Mas o que é o raio X? Raio X, ou radiação X, ou ainda radiação Röntgen¹⁶², em referência ao seu descobridor, é uma forma de radiação eletromagnética de comprimento de onda extremamente curto e alta frequência¹⁶³.

¹⁶¹ No original: *Wilhelm Roentgen, Professor of Physics in Wurzburg, Bavaria, discovered X-rays in 1895—accidentally—while testing whether cathode rays could pass through glass. His cathode tube was covered in heavy black paper, so he was surprised when an incandescent green light nevertheless escaped and projected onto a nearby fluorescent screen.*

(...)

Roentgen quickly found that X-rays would pass through human tissue too, rendering the bones and tissue beneath visible. News of his discovery spread worldwide, and within a year, doctors in Europe and the United States were using X-rays to locate gun shots, bone fractures, kidney stones and swallowed objects. Honors for his work poured in—including the first Nobel Prize in physics in 1901.

¹⁶² Wilhelm Conrad Röntgen (1845 - 1923), físico e engenheiro mecânico alemão, laureado com o Nobel em Física em 1901.

¹⁶³ “Os raios X são uma forma de radiação ionizante - ao interagir com a matéria, eles têm energia o suficiente para fazer com que átomos neutros ejetem elétrons. Por meio desse processo de ionização, a energia dos raios X é depositada na matéria. Ao passar pelo tecido vivo, os raios X podem causar alterações bioquímicas prejudiciais em genes, cromossomos e outros componentes celulares” (STARK, 2021).

No original: *X-rays are a form of ionizing radiation—when interacting with matter, they are energetic enough to cause neutral atoms to eject electrons. Through this ionization process the energy of the X-rays is deposited in the matter. When passing through living tissue, X-rays can cause harmful biochemical changes in genes, chromosomes, and other cell components.*

Lucas explica que:

A radiação eletromagnética (EM - *electromagnetic radiation*) é uma forma de energia que está ao nosso redor e assume muitas formas, como ondas de rádio, microondas, raios X e raios gama. A luz solar também é uma forma de energia EM, mas a luz visível é apenas uma pequena parte do espectro EM, que contém uma ampla faixa de comprimentos de onda eletromagnética¹⁶⁴ (LUCAS, 2015).¹⁶⁵

Os estudos sobre o raio X trouxeram importantes dados para a compreensão da realidade, mas também geraram tecnologias fundamentais para o bem estar da sociedade em geral.

Outro empreendimento científico de inegável ganho tecnológico, em que pese suas trágicas consequências, é o chamado Projeto Manhattan. O governo estadunidense arregimentou cientistas, muitos deles refugiados de regimes fascistas na Europa, em 1939, a fim de organizar um projeto com o objetivo de explorar o recém-reconhecido processo de fissão nuclear para fins militares e criar a primeira bomba atômica em 1945 (conf. Encyclopædia Britannica, editorial, 2021). O escopo militar era apenas para ganho de tecnologia (letal), mas a comunidade científica acabou se beneficiando com novos conhecimentos, mesmo porque dados sensíveis acabaram vazando. De resto, a energia nuclear, apesar de perigosa, é ainda largamente empregada.

¹⁶⁴ No original: *Electromagnetic (EM) radiation is a form of energy that is all around us and takes many forms, such as radio waves, microwaves, X-rays and gamma rays. Sunlight is also a form of EM energy, but visible light is only a small portion of the EM spectrum, which contains a broad range of electromagnetic wavelengths.*

¹⁶⁵ Radiação eletromagnética é geralmente classificada pelo comprimento de ondas / frequência na seguinte ordem: ondas de rádio, microondas, infravermelho (IR), luz visível, ultravioleta (UV), raios X e raios gama. Assim: "Os raios X são, grosso modo, classificados em dois tipos: raios X moles e raios X duros. Os raios X moles compreendem a faixa do espectro EM (eletromagnético) entre os raios UV e gama. Os raios X moles têm frequências de cerca de 3×10^{16} a cerca de 10^{18} Hz e comprimentos de onda de cerca de 10 nm (4×10^{-7} polegadas) a cerca de 100 picômetros (pm) ou 4×10^{-8} polegadas. Os raios X duros ocupam a mesma região do espectro EM que os raios gama. A única diferença entre eles é sua fonte: os raios X são produzidos por elétrons em aceleração, enquanto os raios gama são produzidos por núcleos atômicos" (LUCAS, 2015)

No original: *X-rays are roughly classified into two types: soft X-rays and hard X-rays. Soft X-rays comprise the range of the EM spectrum between UV and gamma rays. Soft X-rays have frequencies of about 3×10^{16} to about 10^{18} Hz and wavelengths of about 10 nm (4×10^{-7} inches) to about 100 picometers (pm), or 4×10^{-8} inches. Hard X-rays occupy the same region of the EM spectrum as gamma rays. The only difference between them is their source: X-rays are produced by accelerating electrons, while gamma rays are produced by atomic nuclei.*

Outros projetos científicos são mais preocupados com os ganhos epistêmicos da pesquisa, como o *NASA Hubble Space Telescope*, parceira entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration* ou Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) e ESA (*European Space Agency* ou Agência Espacial Europeia). Conforme o endereço eletrônico do projeto:

Em 24 de abril de 1990, o ônibus espacial Discovery decolou da Terra com sua preciosa carga, o Telescópio Espacial Hubble. (...) Ninguém poderia ter previsto as maravilhas que o Hubble veria nos 30 anos que se seguiram. De nosso próprio quintal cósmico até os confins do universo, Hubble nos mostrou propriedades do espaço e tempo que durante a maior parte da história humana só poderiam ser imaginadas.

(...) Observando a fronteira cósmica, Hubble descobriu algumas das galáxias mais antigas do universo, explorou a natureza da enigmática matéria escura e ajudou na descoberta do fenômeno ainda inexplicado chamado energia escura¹⁶⁶ (HUBBLE, 2020).

Os ganhos em conhecimento científico são inestimáveis e a saga da exploração cósmica continua com o *James Webb Space Telescope*, também da NASA, previsto para lançamento no final de 2021. Mas qual é o benefício imediato de tais descobertas? É difícil dizer (além de, citando novamente Aristóteles: “todo homem, por natureza, deseja saber¹⁶⁷” - 2015, p. 10), contudo no médio e longo prazo certamente surgirão tecnologias e técnicas oriundas de muitas dessas descobertas.

Algumas vezes, por outro lado, existe um equilíbrio entre perspectivas de ganho epistêmico com utilidades práticas, como no caso mapeamento do genoma humano levado a cabo pelo Human Genome Project - HGP. Embora a empreitada tenha se mostrado mais complexa do que inicialmente esperado, os ganhos epistêmicos com o estudo do genoma humano certamente trarão inegáveis ganhos em medicina e qualidade de vida (e provavelmente alguns desafios éticos).

¹⁶⁶ No original: *On April 24, 1990, the space shuttle Discovery lifted off from Earth with its precious cargo, the Hubble Space Telescope. (...) No one could have predicted what wonders Hubble would see in the 30 years that followed. From our own cosmic backyard to the far reaches of the universe, Hubble showed us properties of space and time that for most of human history could only be imagined.*

(...) *Observing the cosmic frontier, Hubble has uncovered some of the universe's earliest galaxies, explored the nature of the enigmatic dark matter, and built upon the discovery of the yet-unexplained phenomenon called dark energy.*

¹⁶⁷ No original: *All men by nature desire to know.*

No entanto, esta maior aproximação entre ciência e tecnologia é um fenômeno recente, pois por milênios ambos corpos de conhecimentos se desenvolveram pouco se comunicando. Veja o que é dito em obra de fôlego sobre a história da ciência e da tecnologia:

Pretendemos revisar a suposição comum de que a tecnologia é ciência aplicada e mostrar, em vez disso, que na maioria das situações históricas anteriores ao século XX, a ciência e a tecnologia progrediram em isolamento parcial ou total uma da outra - tanto intelectual quanto sociologicamente¹⁶⁸ (MCCLELLAN III; DORN, 2016, p. 2).

Há inúmeros casos para confirmar historicamente a tese defendida pelos autores. As primeiras ferramentas que surgiram há milhões de anos pelo engenho de nossos longínquos antepassados primatas, certamente podem ser entendidas como tecnologias, mas é difícil defender que foram fruto de pesquisas científicas. No máximo, foram fruto de testes empíricos: navalhas feitas da pedra tal ou com uma técnica específica cortavam melhor etc. Certamente quando inventaram a roda não tinha-se ideia da física por trás dela. Outro exemplo desconcertante, é a bicicleta. Inventada por Karl von Drais, no começo do século XIX e amplamente utilizada por bilhões de pessoas, a (complicada) física por trás das bicicletas só foi compreendida recentemente (para um panorama completo, vide WILSON, 2004). Outro exemplo revelador: os motores a vapor foram fabricados antes que as leis da termodinâmica fossem descritas e o fenômeno entendido teoricamente. O primeiro motor a vapor foi patenteado por Thomas Savery em 1698. Em 1712, o inglês Thomas Newcomen inventou o primeiro motor a vapor prático (MCCLELLAN III; DORN, 2016, pp. 283). Quando, em 1824, o francês Sadi Carnot publicou “Reflexões sobre a força motriz do fogo e sobre máquinas adequadas para desenvolver essa força¹⁶⁹”, que viria a ser a primeira explicação sistemática do fenômeno, motores a vapor já operavam pela Europa há mais de cem anos. Nos anos 1840 a primeira lei da termodinâmica foi formulada independentemente por vários autores. Nos anos 1850 e 1860, o físico alemão Rudolf Clausius publicou uma série de artigos que dariam origem à segunda lei da termodinâmica (MCCLELLAN III; DORN, 2016, pp. 305-306). Somente depois

¹⁶⁸ No original: *We intend to review the common assumption that technology is applied science and show, instead, that in most historical situations prior to the twentieth century science and technology have progressed in either partial or full isolation from each other—both intellectually and sociologically.*

¹⁶⁹ No original: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance.*

de mais de 150 anos após sua invenção, a física do motor a vapor pode ser completamente entendida.

De todo modo, nos últimos cento e poucos anos, a maior simbiose entre estudos científicos e pesquisa científica permitem que o potencial gerador de tecnologia possa ser usado como um termômetro para aferir a evolução de certos ramos científicos. No final das contas, a importância em que a teoria tenha potencial para gerar tecnologia não é apenas um subproduto salutar para o bem estar da população em geral, mas a própria ciência beneficia-se dessas novas tecnologias (nem que seja indiretamente ou em outros campos). Assim, parece fazer sentido preferir teorias que tenham aplicações práticas e, especialmente, maior potencial para gerar tecnologias.

3.5. As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras

A ciência ocupa-se das descrições *verdadeiras* dos fenômenos, das entidades e, em última instância, da descrição da realidade em si. Mas, por melhor que seja, por mais detalhista e acurada, uma descrição é sempre incompleta, aproximada. *Ipsa facto*, as melhores teorias científicas devem possuir plasticidade suficiente para acomodar progressos (empíricos e epistêmicos) e melhorar a aproximação descritiva - do contrário um dia serão eventualmente abandonadas por teorias que tragam melhores descrições. Conforme conhecido filósofo da ciência:

(...) a ciência, incluindo a matemática, é uma história unificada e essa história não é um mito, mas uma aproximação da verdade. Uma aproximação de partes que podem ser, em certos momentos, provisoriamente 'a priori', mas todas as quais estão sujeitas a modificações e melhorias¹⁷⁰ (PUTNAM, 1975, p. 11).

O conceito de verdade aproximada, contudo, está longe de ser unânime ou isento de dificuldades. Veremos a seguir, em 3.5.1. *Adequação empírica ou aproximação da verdade?*, que Van Fraassen, por exemplo, acha o conceito vago e prefere falar em “adequação empírica”. (Putnam também acha mais importante o sucesso empírico do que a verdade da teoria.) Vimos em 3.4. *A Seleção Pelas Melhores Teorias*, que confirmação empírica (como preferimos chamar) é um elemento importante da teoria, pois com o acerto de suas previsões, aumenta a força probante de suas descrições, contudo não é o fator determinante. De resto, a confirmação empírica pode ser problemática, como vimos em 3.4.2.2. *Dificuldades adicionais em confirmação empírica*, além da questão dos inobserváveis que será aprofundada em 5. *CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS*.

O problema talvez seja que a palavra “verdade” carrega um grande *peso* metafísico que pode causar incômodos (mas não vemos muita utilidade para a

¹⁷⁰ No original: (...) science, including mathematics, is a unified story and that story is not myth but an approximation to the truth. An approximation parts of which may be, at certain times, provisionally 'a priori', but all of which is subject to modification and improvement.

ciência em teorias de verdade baseadas em meras concepções semânticas, sem dimensão metafísica, como a de Tarski¹⁷¹).

Já explicitamos que uma das dimensões do realismo científico (que é a teoria que nós endossamos) é metafísica (no sentido de *defesa de uma realidade objetiva, independente de nossa mente*). Recapitulando o que já foi defendido, uma teoria científica é uma *história literal de como o mundo é* (dimensão metafísica), com a *crença de que ela é verdadeira* (dimensão epistêmica) e com *valor de verdade* (dimensão semântica). Veremos também em 5.4. *Acesso Epistêmico aos Inobserváveis*, como a dimensão metafísica de uma teoria científica (no que se refere a observável ou não) é inescapável. Em 3.4.2. *O que significa ter maior poder preditivo?*, vimos como Popper opõe o conteúdo científico ao conteúdo metafísico da teoria, como sendo termos inconciliáveis. A confusão aí, em nosso sentir, é um exacerbado empirismo, pois a confirmação empírica diz respeito à força probante das previsões da teoria quanto aos elementos detectáveis, mas esse não é todo o escopo da teoria. Uma teoria não deixa de ser científica se a sua testabilidade é (ainda) impraticável (ou se os achados empíricos são disputados). Será que quando a teoria do buraco negro foi criada era mera especulação metafísica e depois de sua confirmação empírica, anos depois, tornou-se científica? Veja, nada foi alterado na teoria: a descrição é a mesma. Já vimos que isso é comum. O bóson de Higgs foi teorizado em 1964 e a partícula somente foi *encontrada* em 2013. Os múons

¹⁷¹ Tarski chega ao ponto de dizer: “às vezes tem-se a impressão de que o termo ‘metafísico’ perdeu qualquer significado objetivo e é apenas usado como uma espécie de invectiva filosófica profissional” (TARSKI, 1944, p. 363). No original: *sometimes one gets the impression that the term “metaphysical” has lost any objective meaning, and is merely used as a kind of professional philosophical invective*. Há disputa na doutrina se a definição de verdade tarskiana estaria comprometida com a tese fisicalista (conf. FROST-ARNOLD, 2004, p. 266: afirmando que sim: FIELD, 1972; SOAMES, 1984; STALNAKER, 1987; KIRKHAM, 1993; em sentido contrário: MORMANN, 1999; ROJSZCZAK, 1999; e o próprio Frost-Arnold). Segundo Neurath em texto seminal: “Em certo sentido, a ciência unificada é a física em seu aspecto mais amplo, um tecido de leis que expressam ligações espaço-temporais - vamos chamá-la: fisicalismo” (1983, p. 49). (No original: In a sense unified science is physics in its largest aspect, a tissue of laws expressing space-time linkages - let us call it: Physicalism.) A vertente mais radical de fisicalismo defende que todos os fatos sejam explicados, fundamentalmente, pela ciência física. Já o fisicalismo dos anos 30, apenas defende que os fatos sejam expressos na linguagem usada para descrever eventos na ordem espaço-temporal (conf. FROST-ARNOLD, 2004, p. 267). Qualquer que seja a interpretação, o que parece ser mais razoável supor é que neutralidade metafísica e epistemológica de Tarski tem como finalidade dar uma definição de verdade para as linguagens das ciências dedutivas (matemática e lógica) e resolver paradoxos semânticos, como o paradoxo do mentiroso, como na frase “eu estou mentindo agora”. O problema, pensamos, é que a realidade é muito complexa para ser descrita em linguagens tão limitadas. De resto, na mesma medida em que criticamos a visão popperiana de ciência sem metafísica, não entendemos possível qualquer definição de verdade metafisicamente neutra e, em última medida, qualquer exclusão da entidade “metafísica”, implica em fazer um corte ontológico e este procedimento é metafísico.

também surgiram primeiro em teoria e depois foram confirmados empiricamente. O contrário também ocorre. A evidência observacional sobre matéria escura (*dark matter*) surgiu primeiro, depois vieram as hipóteses explicativas. Há ainda ideias antigas que foram descartadas e depois confirmadas empiricamente, como a plasticidade cerebral ou neuroplasticidade (que surgiu no final do século XIX e permaneceu popular até o começo do século seguinte, caindo em ostracismo até os anos 60. Hoje a teoria é amplamente aceita - para um bom contexto histórico, vide MATEOS-APARICIO; RODRÍGUEZ-MORENO, 2019). Enfim, não vemos sentido nessa atitude desdenhosa quanto a descrições metafísicas em teorias científicas. Em nossa ontologia, nas teorias científicas há espaço para empirismo e metafísica.

Feitas essas considerações, vamos entender melhor o que pode ser dito sobre a aproximação da verdade. Sobre o corrente entendimento sobre gravidade, já explicamos que a descrição do fenômeno por Einstein, é mais aproximada do que a de Newton (conf. 3.3.2. *A ciência não é um sucesso por acaso*), mas ainda há espaço para melhorias. Vejamos:

(...) perto do centro de um buraco negro ou nos primeiros momentos do universo, as equações de Einstein falham. Os físicos precisam de uma imagem mais verdadeira da gravidade para descrever com precisão esses extremos. Essa teoria mais verdadeira deve fazer as mesmas previsões que as equações de Einstein fazem em todos os outros lugares¹⁷². (WOLCHOVER, 2020).

E ainda, mais precisamente: “O ponto principal é que esta descrição aproximada da gravidade irá falhar em alguma escala de energia - ou o que dá no mesmo, abaixo de algum valor”¹⁷³ (idem, ibidem). Assim, para que fique bem claro, a Teoria da Relatividade Geral não é incorreta. (Do mesmo modo, a Geometria Tridimensional Euclidiana não é incorreta, mas é insuficiente para expressar a Relatividade Geral, por isso Einstein socorreu-se da concepção quadridimensional do espaço-tempo de Minkowski.) Pelo contrário, trata-se de uma descrição extremamente acurada do fenômeno gravidade, todavia não é a descrição definitiva, irretocável. As demandas e exigências da ciência por melhores teorias crescem

¹⁷² No original: ... near the center of a black hole or in the first moments of the universe, Einstein's equations break. Physicists need a truer picture of gravity to accurately describe these extremes. This truer theory must make the same predictions Einstein's equations make everywhere else.

¹⁷³ No original: The crucial point is that this approximate description of gravity will break down at some energy scale — or equivalently, below some length.

exponencialmente. Está-se demandando por correções em pequenas imprecisões que só aparecem em fenômenos específicos e extremos (quase além da compreensão humana).

Então, mesmo com todas as dificuldades expostas, parece ser um fato empiricamente demonstrável, por indução, que o conhecimento científico progride, com aumento da objetividade, clareza e do detalhamento de sua ontologia descritiva - o que para nós pode ser chamado de aproximação da verdade.

3.5.1. Adequação empírica ou aproximação da verdade?

Em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO* tentamos demonstrar como a Teoria da Relatividade Geral tem sido testada exaustivamente há mais de cem anos e passado em todos os testes com sucesso. A confirmação empírica está relacionada com a capacidade da teoria em fazer previsões e explicar eventos do passado. Segundo Van Fraassen: “a teoria é empiricamente adequada exatamente se o que ela diz sobre as coisas e eventos observáveis neste mundo são verdade”¹⁷⁴ (1980, p. 12). Contudo, o empirismo construtivo de Van Fraassen acaba restringindo o escopo da teoria científica praticamente aos fenômenos observáveis, vez que o critério de adequação empírica já seria suficiente para tornar a teoria bem sucedida, mesma que falsa em sua descrição sobre inobserváveis. Isso é algo que já criticamos em 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras* e ainda discutiremos em 5.3. *Indetectável não é Ininteligível* e 5.4. *Acesso Epistêmico aos Inobserváveis*. Corroborando com nosso posicionamento, Chakravartty ensina que “As teorias ficam melhores, afirmam os realistas, em termos da precisão de suas descrições das naturezas e comportamentos dos sistemas-alvo no mundo, observáveis e inobserváveis¹⁷⁵” (2007, p. 213).

De resto, existe muito mais conceituação a ser acomodada pelas teorias científicas do que a mera confirmação empírica de suas previsões, por isso

¹⁷⁴ No original: *theory is empirically adequate exactly if what it says about the observable things and events in this world, is true.*

¹⁷⁵ No original: *Theories get better, realists contend, in terms of the accuracy of their descriptions of the natures and behaviours of target systems in the world, observable and unobservable.*

preferimos a noção de aproximação da verdade (ou verdade aproximada) em sua descrição dos fenômenos. Vale ressaltar que para Van Fraassen, “Quando a hipótese é apenas sobre o que é observável, os dois procedimentos [verdade e adequação empírica] resultam na mesma coisa. Pois, nesse caso, a adequação empírica coincide com a verdade”¹⁷⁶ (1980, p. 72). Vale explicar que para o filósofo holandês, os eventos observáveis, ou seja, os fenômenos, comportam definição deveras elástica, como se observa:

Um pouco mais precisamente: tal teoria tem pelo menos um modelo em que cabem todos os fenômenos reais. Devo enfatizar que isso se refere a todos os fenômenos; estes não se esgotam por aqueles realmente observados, nem mesmo por aqueles observados em algum momento, seja passado, presente ou futuro¹⁷⁷.

A primeira crítica é que a aceitar como confirmação empírica eventos ainda inobserváveis, parece contrariar a noção tradicional de empirismo¹⁷⁸, pois há “a preocupação de que a crença do empirista construtivo na adequação empírica de suas teorias aceitas se estenda além do que um empirista de boa fé deveria acreditar” (MONTON; MOHLER, 2021)¹⁷⁹. Ou ainda:

De acordo com o empirista construtivo, “não há garantia puramente epistêmica para ir além de nossas evidências” (van Fraassen 2007, 343). Mas então por que o empirista construtivo sustenta que o objetivo da ciência envolve ir além de nossas evidências? O empirismo quer ser epistemicamente modesto, mas a crença de que uma teoria é empiricamente adequada vai muito além dos resultados da experiência (idem, ibidem)¹⁸⁰.

¹⁷⁶ No original: *When the hypothesis is solely about what is observable, the two procedures amount to the same thing. For in that case, empirical adequacy coincides with truth.*

¹⁷⁷ No original: *A little more precisely: such a theory has at least one model that all the actual phenomena fit inside. I must emphasize that this refers to all the phenomena; these are not exhausted by those actually observed, nor even by those observed at some time, whether past, present, or future.*

¹⁷⁸ Mais a frente teremos mais comentários sobre o empirismo.

¹⁷⁹ No original: *See Section 3.4 below for a discussion of the worry that the constructive empiricist's belief in the empirical adequacy of her accepted theories thereby extends beyond what a bona fide empiricist ought to believe.*

¹⁸⁰ No original: *According to the constructive empiricist, “there is no purely epistemic warrant for going beyond our evidence” (van Fraassen 2007, 343). But then why does the constructive empiricist hold that the aim of science involves going beyond our evidence? Empiricism wants to be epistemically modest, but belief that a theory is empirically adequate goes well beyond the deliverances of experience.*

De resto, mesmo na parte descritiva da teoria que trata apenas de fenômenos, não há coincidência exata entre a confirmação empírica (que é mais restrita) e a aproximação da verdade (escopo amplo da teoria). Como já explicamos em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO*, a teoria do buraco negro foi confirmada empiricamente até grandezas enormes e mínimas, no entanto ainda existem situações descritas pela teoria em que não há possibilidade de teste empírico. Assim, a teoria do buraco negro é uma descrição aproximadamente verdadeira do fenômeno, no entanto, a adequação empírica vem aumentando, sem necessidade de ajustes na parte teórica da teoria. De qualquer forma, há aspectos da teoria que potencialmente nunca poderão ser testados (como observar o centro de um buraco negro e retornar com as informações?) e se temos razões epistêmicas para acreditar na verdade da teoria para além da possibilidade de confirmação empírica é o que separa realistas de empiristas.

Isso mostra que adequação empírica e aproximação de verdade são conceitos distintos e que não caminham necessariamente unidos. Isto é, pode haver aproximação da verdade em partes da teoria que não possuem adequação empírica.

Em 3.4.1. *O que significa ter melhor poder explicativo?* já demonstramos que, em nossa visão realista da ciência, as explicações científicas devem ser concretas, específicas e (aproximadamente) verdadeiras. Contudo, poderá haver uma gradação de concretude nessa descrição. Vejamos:

Os realistas científicos deveriam levar a sério esse tipo de pragmatismo em sua compreensão da verdade aproximada. Eles devem pensar na verdade aproximada como algo que se multiplica por meio de diferentes relações representacionais, envolvendo descrições verdadeiras de estruturas concretas em alguns casos, e pouco mais do que referências bem-sucedidas em outros¹⁸¹ (CHAKRAVARTTY, 2007, p. 254).

Assim é, para nós, pois em alguns casos, ou em alguns aspectos de uma determinada teoria, a concretude da descrição poderá ser menor. Isso é especialmente válido para a descrição dos fenômenos (ainda) inobserváveis ou

¹⁸¹ No original: *Scientific realists should take this sort of pragmatism to heart in their understanding of approximate truth. They should think of approximate truth as something that is multiply realized by means of different representational relationships, involving true descriptions of concrete structures in some cases, and little more than successful reference in others.*

mesmo na descrição metafísica das entidades. (Pedimos paciência ao leitor para tratarmos desse tema em mais detalhes em 5. *CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS*.) De toda forma, é preciso deixar claro que teorias científicas não são uma mera sistematização de dados empíricos coletados. Nesse particular, Laudan tem interessante lição, *in verbis*:

A noção de verdade aproximada é, na realidade, muito vaga para permitir que alguém julgue se uma teoria consistindo inteiramente de leis aproximadamente verdadeiras teria sucesso empírico; o que está claro é que uma teoria pode ser empiricamente bem-sucedida mesmo que não seja aproximadamente verdadeira¹⁸² (LAUDAN, 1981, p. 47).

Não concordamos que a noção de verdade aproximada seja demasiadamente vaga, nos termos já explicados anteriormente, mas Laudan tem razão quando separa *descrição verdadeira* de *sucesso empírico*. O leitor deve recordar-se que em 3.1.3. *Porque há dúvida sobre o progresso da ciência?* mostramos como a teoria ótica de Fresnel tinha sucesso na confirmação empírica de suas previsões, malgrado fosse uma descrição falsa do fenômeno, pois não há vibração no éter (explicação metafísica). No entanto, em nosso sentir, teorias que apresentem uma descrição acurada do fenômeno, necessariamente atingirão sucesso empírico em algum grau (já explicamos, porém, que a demanda pela precisão poderá, em casos específicos, ser muito grande).

Ao fim, em nossa concepção realista, teorias científicas devem apresentar descrições verdadeiras do mecanismo causal dos fenômenos do mundo (observáveis ou não) como eles realmente são (ou muito aproximadamente, levando em conta a cognição humana, como faz a teoria do *conhecimento incorporado* de Piaget, tratada em 3.3.4. *Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*). Mas teorias científicas também podem explicar *o que são* entidades, apontando para referentes reais no mundo e adentrando em terreno nitidamente metafísico, mas sem abrir mão de serem científicas ou mesmo empíricas. Conceituar a gravidade como uma força ou uma distorção do espaço-tempo, são esquemas conceituais ontologicamente diversos que podem ser utilizados em dimensões diversas do fenômeno (e.g. escalas

¹⁸² No original: *The notion of approximate truth is presently too vague to permit one to judge whether a theory consisting entirely of approximately true laws would be empirically successful; what is clear is that a theory may be empirically successful even if it is not approximately true.*

quânticas, humanas ou cósmicas). Explicar interações gravitacionais entre partículas, a queda de uma maçã da árvore ou a expansão do Big Bang passam pelo mesmo mecanismo chamado gravidade. Contudo, é natural que possa-se fazer uso de diferentes contextos descritivos para explicar dimensões tão díspares do mesmo fenômeno.

Então, respondendo à nossa pergunta inicial: adequação empírica ou aproximação da verdade? As teorias científicas devem buscar a aproximação da verdade, com descrições mais detalhadas dos fenômenos, o que também poderá passar por uma maior precisão empírica (aliás, o ideal é que também haja ganho empírico).

4. O PAPEL DA TECNOLOGIA

A tecnologia é naturalmente anterior à ciência moderna, que surge somente no século XVII. Quando os primeiros humanos começaram a desenvolver ferramentas e posteriormente armas, fizeram uso, no entanto, de uma proto-ciência, usando técnicas quase-científicas como tentativa e erro (que não chega a ser experimentação sistemática) e testagem empírica (que não chega a ser observação metódica dos resultados). Isso ocorreu muito antes do surgimento das primeiras ciências (como astronomia e matemática) na Mesopotâmia e Egito e da Filosofia Natural dos Gregos Antigos. Nessa época, o uso da tecnologia ainda era tímido, mas mesmo assim era indispensável. Desde a Antiguidade, guardar registro físico dos conhecimentos, experimentos, previsões etc. era indispensável, pois ampliava os limites epistêmicos. Povos que não desenvolveram escrita e portanto dependiam apenas das tradições orais, não conseguiram evoluir as suas ciências e tecnologias além de certo patamar rudimentar. Sem ferramentas e registros escritos, Hipócrates¹⁸³, Galeno¹⁸⁴ e outros não poderiam ter procedido dissecações e legado contribuições à anatomia e a medicina. Esses são apenas alguns exemplos óbvios. Com a melhoria nas técnicas de fabricação de lentes, os primeiros microscópios e telescópios revolucionaram campos como biologia, medicina, astronomia e muitos outros e abriram novos horizontes de estudos no início do século XVII em diante. Eventos e entidades até então invisíveis passaram a ser observáveis, ampliando os limites sensíveis. Novos equipamentos e técnicas continuam possibilitando avanços científicos, com progressos epistêmicos, sensíveis e melhorando a descrição científica.

Isso não quer dizer que alta tecnologia seja necessária para todo e qualquer progresso científico. Há os chamados *cientistas de baixa tecnologia* (*low-tech scientist*). Em um artigo recente, ecologistas da Universidade de Toronto e da Universidade de Guelph relataram, no Parque Provincial de Algonquin, uma espécie de planta carnívora (*Sarracenia purpurea*) que alimenta-se de salamandras. Pensava-se que elas predavam apenas insetos e aranhas. Outro estudo de baixa tecnologia é conduzido pelo ecologista John Marzluff, da Universidade de Washington, sobre a cognição de corvos selvagens (tudo conf. THOMASY, 2019). A

¹⁸³ Hipócrates (460 a.C. - 370 a.C.), estudioso grego considerado um dos pais da medicina.

¹⁸⁴ Cláudio Galeno (ca. 129 - ca. 2017), médico e filósofo romano de origem grega.

grande vantagem dessas pesquisas é o baixo custo financeiro. Satélites, telescópios, aceleradores de partículas e outros apetrechos de ponta custam caro, naturalmente. Observação e raciocínio continuam sendo poderosas *ferramentas* científicas, contudo não é possível fazer ciência sem investimentos e em muitos campos seria (quase) impossível qualquer avanço digno de nota sem equipamentos de alta tecnologia.

Na atualidade a tecnologia, impulsionada pelo conhecimento e novas técnicas científicas, progride. De outro lado, a colaboração da tecnologia com a ciência tende a gerar avanços epistêmicos e semânticos, ou seja, maior compreensão e melhores descrições (aproximadamente) verdadeiras da realidade.

Em 3.4.4. *Potencial gerador de tecnologia* já vimos que desde o século XX tecnologia e ciência estão cada vez mais interligadas. Esta é uma tendência persistente e que tem gerado acelerados progressos tanto na tecnologia quanto na ciência. Essa aproximação é importante para a meta indução otimista porque a tecnologia ajuda a ampliar os limites sensíveis e epistêmicos que ajudam o progresso científico. Por outro lado, o conhecimento e mesmo a pesquisa científica ajudam a criar novas tecnologias.

Há vários casos de progressos tecnológicos que tiveram grandes impactos sociais, em áreas como a agricultura, medicina e armamentista. Exemplos óbvios seriam a pílula anticoncepcional, os fertilizantes, a penicilina e a bomba atômica, respectivamente. Todas estas tecnologias são frutos de pesquisas científicas. Neste mesmo sentido, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration* ou *Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço*) tem como atribuição a pesquisa e exploração espacial, mas para tanto é essencial desenvolver tecnologias que, muitas vezes, acabam tendo destinos insuspeitos. As chamadas tecnologias derivadas da NASA (*NASA spinoff technologies*) são produtos originados em pesquisas aeroespaciais e destinados ao mercado consumidor. Neste sentido, a agência aeroespacial possui um programa de licenciamento de patentes com potencial comercial com imenso portfólio (vide NASA, 2021¹⁸⁵). São vários exemplos, como as câmeras de telefones celulares. Em 1990 o time de pesquisadores do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL - Laboratório de Propulsão a Jato) desenvolveu uma

¹⁸⁵ <https://technology.nasa.gov/patents/>

câmera com alta qualidade e diminuta em tamanho. Esta tecnologia ainda é usada por 1/3 dos telefones celulares.

Outros exemplos são: lentes resistentes a arranhões, tomografia computadorizada, LED (*light-emitting diode* ou diodo emissor de luz), removedor de minas terrestres, tênis esportivos (como o Nike Air®) cobertores térmicos (*foil blankets*), sistema de purificação de água por ionizador eletrolítico de prata, aspirador de pó portátil, termômetro com sensor infravermelho, isolantes térmicos domésticos revestidos por filme (poliéster) aluminizado, ferramentas de resgate hidráulico, *headsets* sem fio, espuma de efeito memória, comida desidratada para congelar (liofilizados, também conhecidos como comida de astronauta), melhores detectores de fumaça, papinha de nenê, membros artificiais, mouse para computador e computadores portáteis (tudo conforme NASA, 2021¹⁸⁶).

Vale ressaltar, que em (quase) todos os campos científicos há uma grande demanda por mais e melhores tecnologias. Até mesmo a matemática, umas das ciências menos empíricas¹⁸⁷, se beneficia da tecnologia, principalmente de poder computacional. Por exemplo, recentemente Timothy Mullican, dos USA, usou o programa de computador *y-cruncher* para calcular 50 trilhões de dígitos de Pi [π - a razão entre o perímetro do círculo e o comprimento do seu diâmetro] usando o algoritmo de Chudnovsky (conf. Guinness World Records Limited, 2021.)

¹⁸⁶ <https://www.jpl.nasa.gov/infographics/20-inventions-we-wouldnt-have-without-space-travel/>

¹⁸⁷ A maioria considera a matemática como uma ciência formal não empírica, como a lógica, ciência da computação, estatística etc., não obstante a matemática aplicada talvez esteja no meio do caminho. Nesse sentido: “De um modo geral, a matemática aplicada é uma atividade disciplinada que fica entre as ciências empíricas e a matemática pura” (LIN, 1976, p. 269).

No original: *Generally speaking, applied mathematics is a disciplined activity which lies between the empirical sciences and pure mathematics.*

4.1. A Colaboração Entre Ciência e Tecnologia

Já demos vários exemplos de casos em que o progresso tecnológico possibilitou melhores instrumentos, ampliando limites sensíveis, tornando eventos inobserváveis em fenômenos que poderiam ser medidos e, assim, previsões empíricas confirmadas. Falamos em 3.4.1.1. *A busca por explicações mais simples*, que novas teorias que expliquem matéria escura e energia escura passarão pela descoberta de novas partículas, forças e interações. Precisamos de tecnologia de ponta para tanto. Assim é porque as teorias de hoje preveem algumas características da matéria escura. Por exemplo, ela deve ser fria, pois sua velocidade é lenta comparada à da luz e o adjetivo escura se refere à baixa interação com a matéria regular. Ou seja, os cientistas já supõem aproximadamente o que procurar, mas ainda não há equipamentos sensíveis o suficiente para encontrar a esquiva matéria. (O leitor talvez se lembre que em 3.4.2.2. *Dificuldades adicionais em confirmação empírica*, reportamos que o experimento DAMA alega já tê-la detectado, entretanto a comunidade científica, em sua maioria, é cética.)

A interação entre tecnologia e ciência é, contudo, uma via de mão dupla. Como já vimos, a tecnologia também se beneficia do progresso científico, especialmente desde o século XX. Frequentes ondas trazendo novos conhecimentos científicos possibilitaram um acelerado progresso tecnológico. Vejamos um exemplo interessante. O radioastrônomo australiano John O'Sullivan trabalhava com seus colegas em um experimento para detectar radiação Hawking emitida por buracos negros. O experimento fracassou, mas surgiu um subproduto fundamental e antepassado direto da tecnologia Wi-Fi¹⁸⁸ (patenteado pela Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO), possibilitando a transmissão de dados de internet em alta velocidade (conf. HALL, 2015; e também SHEEDY, 2019). Dessa forma, o que começou como uma pesquisa científica, acabou migrando para uma pesquisa tecnológica que gerou uma aplicação de grande impacto.

Há ainda novos campos científicos, como a ciência da informação, surgida nos anos 1950, que estão indissociavelmente amalgamados à tecnologia (conf. KHOSROW-POUR, 2005; FLORIDI, 2011). Veja que:

¹⁸⁸ Do inglês "Wireless Fidelity", ou seja, "fidelidade sem fio".

Porque a ciência da informação e a tecnologia impactaram profundamente a ciência, os negócios, a sociedade e todos os outros aspectos da vida em nosso planeta, vários pesquisadores ao redor do mundo têm se concentrado em acumular conhecimento sobre esta disciplina. O volume e intensidade da pesquisa no campo da ciência da informação e tecnologia excedeu em muito muitos outros campos da ciência, e o impacto das descobertas desta pesquisa tornou-se a força motriz das muitas tecnologias e aplicações emergentes¹⁸⁹ (KHOSROW-POUR, 2005, LXIX).

Outro novo campo de estudo em franca evolução, a Filosofia da Informação lida com as temáticas científicas e tecnológicas no contexto empirista desde o século XVII e da matemática da informação, tecnologia da informação e ciência da computação desde o séc. XX (conf. ADRIAANS, 2021). Conforme FLORIDI (2002, p. 123):

FI é definido como o campo filosófico que se preocupa com a investigação crítica da natureza conceitual e dos princípios básicos da informação, incluindo sua dinâmica, utilização, ciências, e a elaboração e aplicação de metodologias teóricas da informação e computacionais a problemas filosóficos¹⁹⁰.

De tudo que foi dito aqui, pretendemos ter demonstrado que ciência e tecnologia são campos inter-relacionados. De um modo geral, a tecnologia irá fazer uso de conhecimentos científicos para resolver problemas práticos e para controlar e explorar diversos ambientes. Já a ciência fará uso da tecnologia para detecção e confirmação empírica de novas entidades e fenômenos, além de medições cada vez mais precisas. A tecnologia também poderá ser empregada para melhor compreender essas novas entidades com simulações (conf. IMBERT, 2016, p. 26) possíveis por meio de processos computacionais. Há ainda amplo emprego de tecnologia para cálculo e armazenamento de dados. De qualquer forma, todas essas interações frequentes geram novas descobertas científicas ou a confirmação de

¹⁸⁹ No original: *Because information science and technology has profoundly impacted science, business, society, and every other aspect of life on our planet, numerous researchers around the world have focused on accumulating knowledge on this discipline. The volume and intensity of research in the field of information science and technology has by far exceeded many other fields of science, and the sheer impact of research discoveries in this area has become the driving force of many emerging technologies and applications.*

¹⁹⁰ No original: *PI is defined as the philosophical field concerned with the critical investigation of the conceptual nature and basic principles of information, including its dynamics, utilisation, and sciences, and the elaboration and application of information-theoretic and computational methodologies to philosophical problems.*

descrições apresentadas pelas teorias que até então não tinham respaldo empírico direto.

4.2. O Papel da Tecnologia Para a Meta Indução Otimista

Mas afinal, qual é a importância da tecnologia para a meta indução otimista? A tecnologia tem dois papéis essenciais para a meta indução otimista, no que concerne à coleta de dados empíricos: mais dados serão coletados e haverá aumento no refinamento na análise destes dados. Vejamos!

Primeiramente, melhores equipamentos com tecnologias mais avançadas serão capazes de detectar entes que eram inobserváveis (embora muitas vezes já previstos por teorias¹⁹¹) por meio dos sentidos humanos ou mesmo com ajuda de aparatos do passado. Sendo observáveis, os eventos poderão ser medidos e haverá possibilidade de confirmação empírica direta - que validará ou não a teoria ou parte de sua descrição¹⁹² (contudo em outros casos não haverá uma teoria para explicar os novos achados e os teóricos tratarão de desenvolver uma¹⁹³). Assim é porque teorias científicas são descrições complexas de fenômenos e podem ser parcialmente corretas, ou aproximadamente verdadeiras (dimensão semântica) em algumas descrições e totalmente incorretas em outras. Vale notar que a descrição do fenômeno da gravidade pela Teoria da Gravitação Universal de Newton, pode ser entendida como uma descrição aproximadamente verdadeira que continua válida a depender da escala e das condições. A descrição de Newton terá de ser abandonada a favor da descrição da Teoria da Relatividade Geral, em razão de imprecisões, em escalas microscópicas ou cósmicas ou em condições extremas, como altíssimas gravidades etc. Não obstante, a descrição de Newton estava completamente errada quando prescrevia, por exemplo, que a gravidade agia de forma instantânea nos objetos (conf. SIEGEL, 2016). Mas veja que a velocidade é tão elevada (as ondas gravitacionais movem-se na mesma velocidade da luz, ou seja, 1.079.252.848,8 km/h) que, a um, ele dificilmente poderia aferi-la com a tecnologia então disponível e, a dois, considerá-la instantânea só implicará em erro razoavelmente perceptível em grandes escalas.

¹⁹¹ E se as teorias científicas, quando corretas, podem prever entidades e eventos ainda não detectáveis pela tecnologia então disponível, a concepção realista da ciência é a única que não faz desses sucessos milagres (conf. 3.3. *O Argumento do (Não) Milagre de Putnam*).

¹⁹² Exemplos são os buracos negros, vários elementos químicos da tabela periódica, múons e o bóson de Higgs.

¹⁹³ Como se deu, por exemplo, com a matéria escura e o DNA, descoberto em 1869 pelo pesquisador suíço Friedrich Miescher, mas seu papel na hereditariedade genética só começou a ser entendido em 1953, graças à pesquisa de James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin (conf. NIH, sem data).

E isso não é tudo. Agora entra o segundo papel essencial da tecnologia, quanto à coleta dos dados empíricos para a meta indução otimista. Graças ao progresso tecnológico, melhores aparatos, cada vez mais precisos, testarão as descrições da teoria até o seu possível limite descritivo/explicativo, eventualmente pressionando por mais detalhamentos teóricos (progresso epistêmico). Isso é essencial para a meta indução otimista, pois acredito em uma progressiva aproximação da verdade (progresso semântico). Fazendo uma rápida recapitulação, os ramos científicos mais maduros (geralmente) produzem as melhores teorias científicas. Estas teorias descrevem coisas reais, como elétrons, buracos negros etc. Seus referentes apontam para entes reais que existem no mundo. Sendo assim, suas descrições possuem valor semântico e são aproximadamente verdadeiras¹⁹⁴. A questão primordial é que as descrições científicas das teorias não esgotarão *necessariamente* todas as possibilidades descritivas/explicativas do fenômeno. Geralmente, ainda há algo mais que possa ser entendido, pois os fenômenos costumam ser demasiadamente complexos. Às vezes, como ocorreu com a gravitação de Newton, ao tempo, a descrição parece ser suficientemente precisa. Contudo, posteriormente, há demandas para maior detalhamento (como enviar um robô a Marte, sondas a Netuno ou um sistema de posicionamento global por satélites em tempo real - o *global positioning system* - GPS) e para acomodar correlações insuspeitas ao tempo na criação da teoria (Newton obviamente não poderia ter previsto buracos negros, ondas gravitacionais, interações entre partículas subatômicas etc.).

Outro exemplo interessante é o periélio de Mercúrio. Vejamos:

Uma propriedade interessante da órbita de Mercúrio é a mudança observada no periélio, ou seja, a direção do periélio e afélio de Mercúrio (a "linha de absides") está progredindo lentamente ao longo da órbita. Este efeito está presente em todas as órbitas planetárias e é causado principalmente pela interação gravitacional com os outros planetas.

Mas foi descoberto no século XIX, por meio de observações posicionais muito precisas, que a taxa medida da mudança do periélio de Mercúrio era diferente em cerca de 43 segundos de arco por século do que a teoria gravitacional clássica (newtoniana) previa.

A origem desta discrepância foi por muito tempo um grande mistério. No entanto, foi descoberto que o movimento está em total conformidade com a Teoria Geral da Relatividade de Albert Einstein - quando os termos

¹⁹⁴ Sobre o conceito de verdade aproximada, vide 3.4.1. *O que significa ter melhor poder explicativo?*, 3.5. *As Melhores Teorias do Presente São (Aproximadamente) Verdadeiras* e 3.5.1. *Adequação empírica ou aproximação da verdade?*

"relativísticos" são introduzidos, há concordância absoluta entre a observação e a teoria. Este fenômeno está, portanto, agora completamente compreendido e, de fato, constitui uma das melhores provas da validade da teoria de Einstein¹⁹⁵ (CRUPI, 2020).

Ou seja, graças ao avanço tecnológico foi possível uma medição suficientemente precisa que indicou um erro da previsão da teoria então vigente - a Gravitação Universal de Newton. Com o surgimento da Relatividade Geral, tal fenômeno pôde ser explicado e confirmado empiricamente. Neste sentido, a Teoria da Gravitação Universal de Newton é inferior à teoria gravitacional descrita pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein, pois a última é mais precisa, mais abrangente (envolve mais entidades, por exemplo) e descreve em melhores termos o fenômeno (é um modelo melhor). A Física Newtoniana explica a gravidade pela forma que ela age e suas relações com massa e distância e mesmo se aceitarmos como uma descrição aproximadamente acurada do fenômeno, não leva em conta outras entidades, como a energia. Já o físico alemão explica a gravidade como curvatura do espaço/tempo. Assim, ele acomoda as três dimensões do espaço com uma quarta dimensão: o tempo. Além disso, ele demonstrou a equivalência entre massa e energia - esta última completamente ignorada por Newton. Tal equivalência é demonstrada na famosa equação:

$$E = m.c^2$$

onde:

E – energia de uma partícula;

m – massa da partícula;

c – velocidade da luz no vácuo.

¹⁹⁵ No original: *An interesting property of Mercury's orbit is the observed perihelion shift , i.e. that the direction of Mercury's perihelion and aphelion (the " line of apsides ") is progressing slowly along the orbit. This effect is present in all planetary orbits and is mainly caused by the gravitational interaction with the other planets.*

But it was discovered in the 19th century by means of very accurate positional observations, that the measured rate of Mercury's perihelion shift was different by about 43 arcseconds per century from what the classical (Newtonian) gravitational theory predicted .

The origin of this discrepancy was long a great mystery. However, it has since been found that the motion conforms fully with Albert Einstein's General Theory of Relativity - when the "relativistic" terms are introduced, there is absolute agreement between observation and theory. This phenomenon is therefore now completely understood and, in fact, constitutes one of the best proofs of the validity of Einstein's theory.

A descrição da gravidade pela Relatividade Geral, dessa forma, acomodou especificidades não acobertadas pela Física Newtoniana, como a curvatura da luz (onda eletromagnética), que não possui massa, mas é afetada pela gravidade. Também corrigiu imprecisões da Física Newtoniana em escalas cósmicas. Por fim, corrigiu erros, como a alegada transmissão instantânea da força gravitacional, já detalhada acima.

O fato é que, em escalas humanas, a Gravitação de Newton se mantém, mas em escalas quânticas ou cósmicas, e ainda em circunstâncias extremas (e.g. altíssimas velocidades, gravidade extrema etc.), ela simplesmente falha e isto é demonstrado empiricamente por meio de tecnologias impensáveis no século XVII. A Gravitação de Einstein, até onde a tecnologia foi capaz de medir, mantém-se incólume em qualquer escala e em qualquer condição. Isto, naturalmente, não quer dizer que a Relatividade Geral é a descrição cabal sobre o fenômeno gravidade. Atualmente, há um esforço da comunidade científica para, com o uso de melhores tecnologias, pressionar em busca do limite descritivo/explicativo da teoria (o caso já foi analisado em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO*). Ao fim e ao cabo, a teoria de Einstein constitui um progresso epistêmico (é mais explicativa) e semântico (a descrição é uma verdade mais aproximada) em relação à teoria de Newton. Todavia, o progresso tecnológico, em algum ponto, poderá demonstrar que a teoria falha em determinadas condições ou escalas. Se isso ocorrer, será necessário uma adequação ou, se for o caso, a substituição por uma nova teoria que, sendo mais abrangente, aproxime-se ainda mais da descrição verdadeira e última do fenômeno - embora a descrição completa (que acomode todos os cenários e especificidades possíveis¹⁹⁶) seja, possivelmente, quimérica. Sendo este o caso, não é necessariamente verdadeiro que a Teoria da Relatividade será refutada pela nova teoria e tornar-se-á uma relíquia do passado. A Teoria da Relatividade continua sendo indispensável para entender diversos fenômenos, pois é uma descrição de entes que realmente existem e agem na realidade, segundo nossa concepção realista da ciência. *A concepção realista dos eventos e entidades indetectáveis é, neste sentido, um ato de confiança na ciência.* Buracos negros

¹⁹⁶ Vale lembrar mais uma vez que a gravitação de Newton falha, por exemplo, próximo a buracos negros ou ao descrever o comportamento de corpos movendo-se em velocidades inconcebíveis à época em que a teoria fora concebida. Estes são cenários não previstos por Newton e sua teoria. Da mesma forma, há especificidades não previstas pela Gravitação Universal, como a interação da gravidade em corpos sem massa, como ocorre no fenômeno da curvatura da luz.

foram previstos pelas melhores teorias científicas, mas não era possível sua confirmação empírica. Com a evolução das tecnologias - fomentada em boa medida pela própria ciência - a confiança na ciência mostrou-se acertada e os eventos previstos tornaram-se fenômenos confirmados empiricamente.

Na sequência, ainda nesse capítulo, veremos o processo que faz surgir melhores teorias que apresentam avanços epistêmicos e semânticos, ou seja, maior compreensão e melhores descrições (aproximadamente) verdadeiras da realidade, que caracterizam a meta indução otimista; estes processos de progressos são, em grande parte, impulsionados pela recente maior aproximação entre ciência e tecnologia, que colaboram entre si, fomentando maiores desenvolvimentos tanto na frente científica quanto tecnológica, como demonstraremos por fim.

4.3. Novas Tecnologias e Avanços Epistêmicos

Avanços nas tecnologias disponíveis possibilitam ainda a ampliação epistêmica, ultrapassando a capacidade humana de apreender e entender fenômenos. Em 4. *O PAPEL DA TECNOLOGIA* já mostramos como a escrita possibilitou o aumento da retenção de informação. Registros escritos são um processo muito mais confiável do que a memória humana. Os processamentos de nosso cérebro, a memória, o raciocínio em suas diversas formas, limitam as conclusões que somos capazes de extrair dos sentidos e também do pensamento abstrato. Da mesma forma que a escrita revolucionou o conhecimento, posteriormente, surgiram os livros e depois a prensa de tipos móveis. Criada por Gutenberg¹⁹⁷, em 1439, a prensa foi um dos fatores que alavancou a revolução científica, pois possibilitou uma maior popularização dos livros e consequente maior disseminação do conhecimento. Outras tecnologias, como rádio, satélites e comunicações em geral, e há algumas décadas a internet, também ocasionaram grandes avanços epistêmicos. Recentemente a informática tem revolucionado tanto a ciência quanto a própria tecnologia. Neste último exemplo fica claro que tecnologias podem alavancar novas tecnologias, como ocorre com frequência e quanto maior o desenvolvimento tecnológico, mais a ciência tem a se beneficiar.

Neste sentido, ferramentas informáticas também ampliaram os limites humanos de reter informações e processar operações complexas em instantes, como demonstramos em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO*, onde um volume enorme de informações precisou ser processado para que pudesse ser traduzido em uma imagem. Trata-se do externalismo sobre a mente, *i.e.*, a tese de que há processos mentais que ocorrem fora do corpo e, conseqüentemente, da mente (conf. ROWLANDS, 2020). Ele se subdivide em:

(I) *externalismo de conteúdo*, ou seja, a crença que os conteúdos de nossos estados mentais dependem, em alguma medida, do que está fora de nossa mente (conf. PUTNAM, 1975); e, numa proposta mais radical,

(II) *externalismo de processo mental* que é a crença de que há uma *mente estendida*, ou seja, estados mentais não incorporados. Em outros termos,

¹⁹⁷ Johannes Gensfleisch zur Laden zum Gutenberg (ca. 1400 - 1468), inventor e editor alemão.

“Defendemos um tipo muito diferente de externalismo: um externalismo ativo, baseado no papel ativo do meio ambiente na condução dos processos cognitivos”¹⁹⁸ (CLARK; CHALMERS, 1998, p. 1). Sendo assim, “parte do mundo é (assim afirmamos) parte do processo cognitivo. Os processos cognitivos não estão (todos) na cabeça!”¹⁹⁹ (ibidem, p. 8).

Também vale refletir sobre a inteligência artificial (para uma melhor compreensão, vide THOMAS, 2005; KIM, 2005; e JONES, 2008) e, especialmente, *machine learning* (conf. MÜLLER; GUIDO, 2016 & SHALEV-SHWARTZ; BEN-DAVID, 2014; e ALBON, 2018), ou seja, sistemas capazes de aprender com as próprias experiências sem (ou com mínima) interferência humana. Uma das formas mais promissoras é o *deep learning* (para um panorama, vide GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016) ou aprendizagem profunda, onde camadas de redes neurais artificiais (algoritmos que imitam estruturas cerebrais) são capazes de interpretar grande quantidade de dados. Há várias aplicações, como reconhecimento facial. Todas estas aplicações tecnológicas contribuem para um progresso epistêmico que ocasiona, por sua vez, avanços científicos. No sentido oposto, por vezes, a tecnologia disponível é o gargalo que nos impede de compreender melhor o mundo, limitando a velocidade dos progressos científicos que poderão descortinar uma realidade mais nítida e rica em detalhes.

A ciência tem se beneficiado da grande velocidade com que a tecnologia tem se tornado cada vez mais desenvolvida. Exemplo desse processo, a chamada Lei de Moore - na verdade uma observação empírica extrapolada para uma projeção - demonstra como os processadores tornam-se cada vez mais eficientes. Na verdade, MOORE (1965), previu que o número de transistores isolados de alto desempenho em um circuito (IC) dobra a cada vinte quatro meses, aproximadamente. Segundo o endereço eletrônico da gigante de processadores Intel, da qual Moore foi um dos fundadores:

Em 1965, Gordon Moore fez uma previsão que daria o passo para nossa revolução digital moderna. A partir da observação cuidadosa de uma tendência emergente, Moore extrapolou que a computação aumentaria drasticamente em potência e diminuiria em custo relativo em um ritmo

¹⁹⁸ No original: *We advocate a very different sort of externalism: an active externalism, based on the active role of the environment in driving cognitive processes.*

¹⁹⁹ No original: *part of the world is (so we claim) part of the cognitive process. Cognitive processes ain't (all) in the head!*

exponencial. O *insight*, conhecido como Lei de Moore, tornou-se a regra de ouro para a indústria eletrônica e um trampolim para a inovação (INTEL, 2021).²⁰⁰

Do exposto, o progresso tecnológico é indispensável como ferramenta capaz de criar conteúdos/processos mentais externos, aumentando exponencialmente o poder de processamento e de retenção de informações da mente humana, possibilitando avanços epistêmicos que, por sua vez, auxiliam em avanços no conhecimento científico.

²⁰⁰ No original: *In 1965, Gordon Moore made a prediction that would set the pace for our modern digital revolution. From careful observation of an emerging trend, Moore extrapolated that computing would dramatically increase in power, and decrease in relative cost, at an exponential pace. The insight, known as Moore's Law, became the golden rule for the electronics industry, and a springboard for innovation.*

4.4. Novas Tecnologias e Avanços Semânticos

A ciência possui um método para produção de conhecimento. O conhecimento científico está segmentado em teorias científicas que descrevem coisas reais do mundo. As teorias também elucidam como os fenômenos operam. Estas descrições e elucidações são verdadeiras ou, pelo menos, são muito aproximadamente verdadeiras. Esta é uma abordagem realista da ciência que implica aceitar a dimensão semântica das teorias científicas.

Segundo lição de Kroeger (2018, p. 4): “O termo semântica é frequentemente definido como o estudo do significado. Pode ser mais preciso defini-lo como o estudo da relação entre a forma linguística e o significado”²⁰¹. A semântica pode também ser definida como o ramo da linguística e da lógica que lida com os significados, referências e a verdade.

O significado de uma frase declarativa simples é chamado de proposição. Uma proposição é uma afirmação sobre o mundo que pode (em geral) ser verdadeira ou falsa²⁰² (idem, ibidem, p. 35). Nosso comprometimento com o realismo científico implica em aceitar que teorias científicas trazem *descrições acerca de entes e fatos do mundo que são verdadeiras ou falsas*. Segundo Glanzberg (2018):

As principais características do realismo, como iremos considerá-lo, são:

O mundo existe objetivamente, independentemente da maneira como pensamos sobre ele ou o descrevemos.

Nossos pensamentos e afirmações são sobre esse mundo²⁰³.

Assim, o que pensamos ou afirmamos é verdadeiro se corresponde à maneira como as coisas ou fatos realmente são no mundo e, desta forma, há valor de verdade na proposição. Já o conceito de verdade aproximada implica aceitar que certas afirmações sobre o mundo encontram limitações descritivas, mas mesmo

²⁰¹ No original: *The term semantics is often defined as the study of meaning. It might be more accurate to define it as the study of the relationship between linguistic form and meaning.*

²⁰² No original: *The meaning of a simple declarative sentence is called a proposition. A proposition is a claim about the world which may (in general) be true in some situations and false in others.*

²⁰³ No original: *The key features of realism, as we will take it, are that: The world exists objectively, independently of the ways we think about it or describe it. Our thoughts and claims are about that world.*

assim, podem ser aceitas como (aproximadamente) verdadeiras. Por exemplo, posso dizer que o valor de Pi (π) é aproximadamente 3,14.

Ou ainda:

- a) $\pi \approx 3,1419$
- b) $\pi \approx 3,141592$
- c) $\pi \approx 3,14159265$

A questão aí se resolve em uma maior ou menor precisão na descrição do valor de π . A *proposição b)* é uma declaração mais precisa do que a declaração da *proposição a)*; e a *proposição c)* é a declaração mais precisa das três. No caso de π , a tecnologia, por meio de processos computacionais, já permitiu calcular 50 trilhões de dígitos do seu valor. A possibilidade de aproximação da verdade é importante para a nossa tese da meta indução otimista porque possibilita o progresso da ciência, por meio de descrições (aproximadamente verdadeiras) mais e mais precisas.

Neste contexto, novas tecnologias permitem testar descrições das teorias científicas em busca de confirmação empírica. Este processo torna entes meramente teóricos e eventos inobserváveis em entes observáveis e fenômenos que podem ser medidos. Graças ao progresso tecnológico, melhores aparatos, cada vez mais sensíveis e precisos, testarão as descrições da teoria até o seu possível limite descritivo/explicativo. Este progresso semântico implica em descrições mais precisas que apresentam um maior valor semântico de verdade.

5. CONCEPÇÃO REALISTA DOS FENÔMENOS INOBSERVÁVEIS

A concepção realista da ciência leva a sério as entidades descritas pelas melhores teorias científicas, sejam elas observáveis ou não. Existem nuances, no entanto. É que há inúmeras posições sobre a ciência consideradas realistas. O realismo de entidade, por exemplo, é cético quanto à verdade das descrições das teorias científicas, mas justifica a crença nas entidades inobserváveis pela observação indireta e interação causal com outros fenômenos relacionados a elas. A principal crítica é que:

A crença nos inobserváveis científicos assim descritos é aqui associada a um grau de ceticismo sobre teorias científicas de forma mais geral, e isso levanta dúvidas sobre se acreditar em entidades enquanto se nega a crença em relação às teorias que as descrevem é uma combinação coerente ou viável²⁰⁴ (CHAKRAVARTTY, 2017).

Já o empirismo construtivo de Van Fraassen é mais restritivo, só é realista quanto aos observáveis, guardando uma postura cética quanto às entidades inobserváveis. O que defendemos é um realismo científico realmente comprometido com o acesso epistêmico aos eventos e entidades observáveis ou inobserváveis.

Já vimos que muitas entidades e eventos foram previstos em teorias e somente quando houve avanço tecnológico, foi possível a confirmação empírica. Como foi possível prever algo até então nunca detectado? Exemplos já dados foram os buracos negros, elementos químicos da tabela periódica, múons e o bóson de Higgs. Em todos estes casos a aposta na ciência mostrou-se acertada. As teorias científicas previram o que ainda não podia ser visto e medido, mas já havia acesso epistêmico. É dizer, essas entidades já eram corretamente descritas e explicadas pelas melhores teorias científicas antes de poderem ser observadas. Pode-se dizer ainda que “Os realistas científicos, portanto, dizem que o acesso epistêmico é o acesso à realidade ou conhecimento da realidade”²⁰⁵ (MULLER, 2014, p. 259) e nós entendemos que este acesso é possível, em alguns casos, mesmo no âmbito puramente teórico.

²⁰⁴ No original: *Belief in scientific unobservables thus described is here partnered with a degree of skepticism about scientific theories more generally, and this raises questions about whether believing in entities while withholding belief with respect to the theories that describe them is a coherent or practicable combination.*

²⁰⁵ No original: *Scientific realists thus say that epistemic access is access to reality or knowledge of reality.*

Uma possível resposta antirrealista seria simplesmente negar a existência destas entidades ou defini-las pragmaticamente como *aparatos* particularmente engenhosos e úteis²⁰⁶, mas não necessariamente reais, ou pelo menos, não são conforme as descrições das teorias que as explicam. Nesta linha:

Para eles (pragmáticos), a verdade é um conceito epistêmico. Dizer que uma afirmação ou teoria é verdadeira, ou que ela oferece uma descrição correta do mundo, é simplesmente dizer que ela tem uma utilidade positiva - é útil de alguma forma acreditar nisso. Outros sustentam que verdades são o que alguém acreditaria em condições epistemicamente ideais, ou no limite ideal de investigação ²⁰⁷ (CHAKRAVARTTY, 2007, p. 32).

Para um realista, no entanto, parece ser mais natural acreditar em um conceito metafísico da verdade, como a teoria da correspondência. “A teoria da verdade da correspondência é, em seu cerne, uma tese ontológica: uma crença é verdadeira se existe uma entidade apropriada - um fato - ao qual ela corresponde. Se não houver tal entidade, a crença é falsa²⁰⁸” (GLANZBERG, 2018).

De toda sorte, o dissenso entre antirrealistas e realistas (e estes últimos entre si, em suas várias correntes) é mais pronunciado em relação aos inobserváveis. Neste sentido: “A essência da controvérsia entre realistas e antirrealistas diz respeito à possibilidade de ter conhecimento do inobservável, e essa possibilidade é contestada com mais veemência por variedades de empirismo²⁰⁹” (CHAKRAVARTTY, 2007, p. 15). Mas veja que, para que a crença sobre um ente inobservável seja verdadeira, basta que haja tal entidade. Ser observável ou inobservável não muda esta dinâmica.

²⁰⁶ Ou *dispositivos de cálculo*, conf. feliz provocação de MAXWELL (1962, p. 24).

²⁰⁷ No original: *For them, truth is an epistemic concept. To say that a statement or theory is true, or that it offers a correct description of the world, is simply to say that it has positive utility – it is useful in some way to believe it. Others hold that truths are what one would believe under epistemically ideal conditions, or in the ideal limit of inquiry.*

²⁰⁸ No original: *The correspondence theory of truth is at its core an ontological thesis: a belief is true if there exists an appropriate entity – a fact – to which it corresponds. If there is no such entity, the belief is false.*

²⁰⁹ No original: *The essence of the controversy between realists and antirealists concerns the possibility of having knowledge of the unobservable, and this possibility is most strongly contested by varieties of empiricism.*

Neste ponto, faz necessária uma explicação: “A Tese do Empirismo: Não temos fonte de conhecimento em S ou para os conceitos que usamos em S além da experiência dos sentidos”²¹⁰ (MARKIE, 2017). E ainda:

Desde a antiguidade, a ideia de que as ciências naturais se baseiam de maneira importante na experiência não é controversa. As únicas questões reais sobre as fontes do conhecimento científico são: existem partes da ciência que não se baseiam na experiência ou também em algo diferente da experiência? Em caso afirmativo, que explicação podemos dar dessas partes? E na medida em que a ciência repousa na experiência, como podemos saber que sim²¹¹? (CREATH, 2017).

É exatamente o ponto que defendemos aqui. Existem eventos descritos corretamente que não se baseiam em experiência direta, pois são inobserváveis. Em todo caso, o empirismo construtivo, visto a pouco, defende que as teorias científicas são construções literais (dimensão semântica), mas acreditam que só se constrói conhecimento quanto aos entes observáveis (dimensão epistêmica); Já a corrente identificada como empirismo lógico, defende que as teorias científicas são construções literais apenas quanto aos observáveis (dimensão semântica), mas acreditam que se constrói conhecimento tanto quanto aos observáveis quanto aos inobserváveis (dimensão epistêmica) - conf. CHAKRAVARTTY, 2007, p. 10.

É necessário entender que o empirismo é apenas parte do método científico. Vejamos que, às vezes, fenômenos conhecidos (empiricamente) pareciam não fazer o menor sentido (teoricamente) até que uma teoria científica pudesse explicá-los, como o periélio de Mercúrio, visto em 4.2. *O Papel da Tecnologia Para a Meta Indução Otimista*. Mas veja que não é o caso de uma teoria (Relatividade Geral) surgida *ad hoc* para explicar determinado fenômeno (periélio de Mercúrio). Trata-se de uma teoria mais ampla, que explica uma miríade de fenômenos, e que também descreve um fenômeno particular em desacordo com a teoria do passado (Gravitação Geral). Assim, é notável que houve progresso científico, com explicações mais abrangentes.

²¹⁰ No original: *The Empiricism Thesis: We have no source of knowledge in S or for the concepts we use in S other than sense experience.*

²¹¹ No original: *Since antiquity the idea that natural science rests importantly on experience has been non-controversial. The only real questions about the sources of scientific knowledge are: Are there parts of science that do not rest on experience or rest also on something other than experience? If so what account can we give of those parts? And to the extent that science does rest on experience how can we know that it does?*

De resto, para nós é fundamental defender a possibilidade de investigação dos entes inobserváveis. Sem acesso epistêmico aos inobserváveis não podemos perscrutar o mecanismo (como funciona?), a causa e o efeito (o que causa a ação x e o que causa a reação y ?) dos eventos; não podemos discutir, com um mínimo de respaldo na realidade, a substância²¹² (o que é?), os atributos (quais são as propriedades?) etc. de uma entidade. Sem esta investigação metafísica direta (que opomos à metafísica meramente especulativa), filósofos vão continuar discutindo quantos anjos podem dançar na cabeça de um alfinete - e nunca entrarão em um acordo.

Veremos na sequência, ainda neste capítulo, a diferença entre observável, detectável direta e indiretamente. Existem zonas cinzentas de difícil etiquetamento. Neste sentido, analisaremos alguns casos práticos particularmente controversos.

Em seguida, demonstraremos que só porque uma determinada entidade não é ainda detectável não quer dizer que não possamos ter acesso epistêmico a ela. É dizer, podemos ter uma descrição verdadeira da entidade ou do evento, com variável grau de detalhamento, a depender de quão bem consolidada é a teoria, mesmo sem possibilidade imediata de confirmação empírica - basta que seja potencial. Isto é, que não seja mera especulação metafísica e que no futuro, com melhores tecnologias, novas técnicas e mais conhecimento científico, seja possível a confirmação empírica das previsões.

Posteriormente, vamos discutir como a corroboração empírica indireta pode dar pistas importantes para a elaboração da teoria científica. E isto não tem nada a ver com pragmatismo. O realismo científico explica satisfatoriamente como isso se dá. Na mesma seção, veremos que, às vezes, ocorre o contrário: previsões da teoria são corroboradas com observação indireta de fenômenos relacionados.

²¹² Segundo a melhor doutrina: "Algumas coisas (se é que existem) estão presentes apenas "em" outras coisas: um sorriso, um corte de cabelo (produto, não processo), um buraco.... Essas coisas podem ser opostas a coisas que existem "por si mesmas". Os metafísicos chamam as coisas que existem por si mesmas de "substâncias". Aristóteles os chamou de 'protai ousiai' ou 'seres primários'" (INWAGEN; SULLIVAN, 2014). Aqui, contudo, empregamos o termo *substância* em seu sentido mais cotidiano, ou seja, a natureza ou essência de uma coisa material.

No original: *Some things (if they exist at all) are present only "in" other things: a smile, a haircut (product, not process), a hole Such things may be opposed to things that exist "in their own right". Metaphysicians call the things that exist in their own right 'substances'. Aristotle called them 'protai ousiai' or "primary beings".*

No final deste capítulo, nosso intento é ter demonstrado suficientemente, com argumentos e exemplos, que as melhores teorias científicas do presente são capazes de descrever e explicar entidades e eventos inobserváveis adequadamente. Essas descrições e explicações são verdadeiras, ou aproximações da verdade.

5.1. O que Conta como Observável?

Provisoriamente, podemos entender como observável tudo o que, em condições ideais, um ser humano ordinário é capaz de avistar a olho nu. A visão é o sentido predominante na espécie humana e por isso temos uma propensão a ter crenças mais fortes em relação ao que podemos ver. Hacking reporta que, em conversa com o biólogo Dr. Jal Parakh, ele teria dito que: “uma das principais razões para acreditar na existência de entidades postuladas pela teoria é que desenvolvemos maneiras cada vez melhores de realmente vê-las”²¹³ (1981, p. 305).

Entretanto, não seria essa definição muito restrita para os propósitos da investigação científica? Entidades microscópicas que vemos pelas *lentes* de um microscópio²¹⁴ são observáveis? E estrelas distantes, avistadas por telescópios? Nós só podemos ver uma pequena porção do espectro eletromagnético, chamada (convenientemente) de espectro visível. Físicos de partículas, por sua vez, fazem observações de entidades muito menores do que o comprimento de onda da luz visível. Astrônomos também frequentemente fazem observações, fora da faixa da luz visível, como por detecção de raios x. Todas estas situações podem ser consideradas observáveis, então? Astrônomos também fazem uso de radiotelescópios que captam ondas de rádio. Aqui, nem mesmo é possível paralelismo ao sentido da visão. O mesmo se diga de sonares, que formam “imagens” pela detecção de pulsos sonares. A correspondência aqui é mais clara com o sentido da audição. Há ainda a detecção de ondas gravitacionais, onde é impossível qualquer paralelismo com sentidos humanos (talvez o tato?). Já no caso do buraco negro que foi estudado em 2. *TEORIA DO BURACO NEGRO: UM CASO PARADIGMÁTICO*, vimos que uma grande quantidade de dados que nada tem a ver com a visão, foi convertida em uma imagem para tornar o fenômeno *observável*.

No final das contas, será que esta distinção entre observável e inobservável faz sentido? Não seria mais adequado falar em detectável ou indetectável? Quando o Dr. Jal Parakh, referido no começo da seção, diz que *vemos*

²¹³ No original: *a main reason for believing in the existence of entities postulated by theory is that we have evolved better and better ways of actually seeing them.*

²¹⁴ É interessante notar que há vários tipos de microscópios, empregando diferentes tecnologias, mas em comum, todos operam por mecanismos muito diferentes do aparelho visual humano, mesmo porque a própria *realidade microscópica* opera por regras diferentes do *mundo macroscópico*. Para um panorama elucidador sobre microscópios, vide WOODFORD, 2020.

entidades previstas nas teorias, é mais provável que ele queira dizer *detectamos*. Em sentido similar, o Dr. Daniel Whiteson, pelo e-mail²¹⁵ citado em 3.4.2. *O que significa ter maior poder preditivo?*, explica que quando diz-se que tal partícula foi vista, no fundo quer-se dizer que *os dados do experimento suportam/são consistentes com o modelo da teoria*. Segundo o Dr. Whiteson, essa é apenas uma forma de falar mais alinhada com nossa intuição. Contudo, mesmo a detecção pode ser problemática. Vimos em 3.4.2.2. *Dificuldades adicionais em confirmação empírica*, que há viva controvérsia se a matéria escura foi detectada no experimento DAMA. Hodiernamente, têm sido comum a *detecção estatística*, por exemplo, como veremos mais à diante.

De resto, como vimos, buracos negros, por exemplo, foram previstos muito antes de haver tecnologia para detectá-los. Assim é porque “Algumas entidades podem ser invisíveis em um momento e depois, graças a um novo truque da tecnologia, elas se tornam observáveis. A distinção entre o observável e o meramente teórico não tem interesse para a ontologia”²¹⁶ (HACKING, 1981, p. 306). Não é bem assim, todavia. A confirmação empírica é sempre um passo desejável, mas o comprometimento realista, como já enfatizado, é uma aposta no sucesso das melhores teorias científicas em descrever entes e eventos mesmo por meio de aparatos meramente teóricos (como teoremas, modelos etc.).

Há outras dificuldades, todavia. Às vezes a entidade em si não é detectável, mas a interação que ela causa é. Isso é particularmente comum na detecção de partículas, como elétrons, quarks etc. (como veremos em 5.2. *Corroboração Empírica Indireta e Estatística*). Tenhamos em mente que pensar na distinção entre observável e inobservável é ainda mais contraintuitivo no mundo subatômico. Isso porque, em seu nível mais fundamental, segundo a Teoria Mecânica de Campos, todos os entes são meras excitações de campos quânticos. Assim:

O Universo que percebemos e vemos, ao nosso redor, não é representativo do que realmente existe em um nível fundamental. Em vez de objetos sólidos contínuos, a matéria é composta de partículas quânticas indivisíveis, mantidas juntas por forças invisíveis que agem no espaço vazio. Tanto as

²¹⁵ WHITESON (2021).

²¹⁶ No original: *Some entities may be invisible at one time and later, thanks to a new trick of technology, they become observable. The distinction between the observable and the merely theoretical is of no interest for ontology.*

próprias partículas quanto as forças podem ser descritas por uma estrutura subjacente: campos quânticos, que descrevem tudo o que sabemos sobre todas as partículas e antipartículas do Modelo Padrão²¹⁷ (SIEGEL, 2018).

Isso, contudo, não deve desencorajar o filósofo com intuições realistas sobre ciência, pois os fenômenos da realidade não precisam ser necessariamente simples ou coerentes como nossa experiência diuturna. O essencial é que as melhores teorias científicas descrevam as entidades e eventos de forma fidedigna à realidade. Vale destacar:

E o fato de que muitas entidades teóricas, por exemplo as da teoria quântica, diferem muito de nossos objetos físicos comuns do dia-a-dia, não é razão para atribuir a eles um status ontológico questionável ou para afirmar que são meramente "dispositivos de cálculo". Afinal, o próprio ar que respiramos, bem como coisas como sombras e imagens de espelho são entidades de tipos bastante diferentes de cadeiras e mesas, mas isso não fornece motivos para contestar seu status ontológico²¹⁸ (MAXWELL, 1962, p. 24).

Do exposto, a menos que se creia que sombras sejam, de alguma forma, menos reais do que cadeiras, não há motivo para crer que elétrons (ou mesmo campos quânticos) sejam seres ontologicamente problemáticos, apenas por serem entidades *estranhas*. Assim é porque, mesmo que tragam descrições *quase*

²¹⁷ No original: *The Universe we perceive and view, all around us, isn't representative of what actually exists at a fundamental level. Instead of continuous, solid objects, matter is composed of indivisible quantum particles, held together through invisible forces that act across empty space. Both the particles themselves and the forces can be described by an underlying structure: quantum fields, which describe everything we know about all the particles and antiparticles of the Standard Model.*

²¹⁸ No original: *And the fact that many theoretical entities, for example those of quantum theory, differ a great deal from our ordinary everyday physical objects is no reason whatever to ascribe a questionable ontological status to them or to contend that they are merely "calculating devices." After all, the very air we breathe as well as such things as shadows and mirror images are entities of quite different kinds from chairs and tables, but this provides no grounds for impugning their ontological status*

fantásticas, teorias científicas, como o Modelo Padrão da Mecânica Quântica²¹⁹, são amplamente corroboradas empiricamente. Além disso:

A realidade é fundamentalmente diferente da nossa imagem clássica de um Universo uniforme, contínuo e bem definido. Embora seja verdade que esses campos quânticos começaram como uma construção matemática, eles descrevem nossa realidade física observável com mais precisão do que qualquer outra teoria que inventamos. Eles nos permitem fazer previsões incrivelmente precisas sobre o que os resultados de qualquer experimento envolvendo os quanta do Modelo Padrão produzirão: previsões que foram confirmadas por todos os experimentos sensíveis o suficiente para testá-los²²⁰ (SIEGEL, 2018).

Provavelmente nem mesmo faz sentido conceber campos quânticos como algo potencialmente observável (pois não fariam parte da realidade sensível), mas certamente é possível fazer medições e confrontá-las com as teorias que os descrevem. De resto, há vários entes e eventos que podem ser explicados, em seu nível fundamental, por teorias científicas que trazem em sua ontologia entes *fantásticos* que estão fora da realidade sensível humana. Em alguns casos, tais entes podem até mesmo ser mensurados²²¹. E isso parece ser suficiente para considerá-los detectáveis, o que pode ser compreendido (frouxamente), para os fins

²¹⁹ As teorias e descobertas de milhares de físicos desde os anos 1930 resultaram em uma visão notável da estrutura fundamental da matéria: tudo no universo é feito de alguns blocos básicos chamados partículas fundamentais, governados por quatro forças fundamentais. Nosso melhor entendimento de como essas partículas e três das forças estão relacionadas entre si está encapsulado no Modelo Padrão da física de partículas. Desenvolvido no início dos anos 1970, ele explicou com sucesso quase todos os resultados experimentais e previu com precisão uma ampla variedade de fenômenos. Com o tempo e por meio de muitos experimentos, o Modelo Padrão tornou-se uma teoria da física bem testada (CERN, 2021).

No original: *The theories and discoveries of thousands of physicists since the 1930s have resulted in a remarkable insight into the fundamental structure of matter: everything in the universe is found to be made from a few basic building blocks called fundamental particles, governed by four fundamental forces. Our best understanding of how these particles and three of the forces are related to each other is encapsulated in the Standard Model of particle physics. Developed in the early 1970s, it has successfully explained almost all experimental results and precisely predicted a wide variety of phenomena. Over time and through many experiments, the Standard Model has become established as a well-tested physics theory.*

²²⁰ No original: *Reality is fundamentally different from our classical picture of a smooth, continuous, well-defined Universe. Although it's true that these quantum fields began as a mathematical construct, they describe our physical, observable reality more accurately than any other theory we've concocted. They allow us to make incredibly precise predictions about what the results of any experiment involving the quanta of the Standard Model will yield: predictions that have been borne out by every experiment sensitive enough to test them.*

²²¹ Vimos (em 3.3.4. *Teorias antirrealistas, "a contrario sensu", não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência*) que é possível medir a massa de um quark, mesmo não sendo possível a sua detecção direta, fora do hádron.

que propomos, como observável, na medida em que a visão é o sentido que nós humanos predominante usamos para investigarmos o mundo²²².

²²² Vide a teoria do conhecimento incorporado de Piaget explicada em 3.3.4. *Teorias antirrealistas, “a contrario sensu”, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência.*

5.2. Corroboração Empírica Indireta e Estatística

Algumas teorias são particularmente bem sucedidas, inclusive empiricamente, sem que contudo as entidades que referenciam sejam detectadas diretamente. Esse é o caso das teorias da Mecânica Quântica, cuja detecção direta dos fenômenos é especialmente difícil, como vimos. Mesmo assim, em Mecânica Quântica há algumas das teorias científicas mais bem sucedidas de toda a Ciência, em que pese as principais entidades estudadas ainda não terem sido detectadas diretamente - algumas, talvez, nunca serão. Vamos retroceder um pouco para entender melhor. A Mecânica Quântica estuda o mundo físico subatômico, então o ponto de partida precisa ser o átomo, que é a unidade básica da matéria. O nome é originado da palavra grega para *indivisível*. Entretanto, os átomos são formados por prótons e nêutrons, em seu núcleo, e elétrons, orbitando a chamada eletrosfera. Prótons e nêutrons são cerca de 100 mil vezes menores do que o átomo todo. Os elétrons são muito menores. Prótons e nêutrons têm massas 1836 vezes maiores que elétrons. No entanto, elétrons foram descobertos primeiro, em 1897, por Joseph John Thomson (conf. MCCLELLAN III; DORN, 2016). Thomson fez experimentos com tubos de raios catódicos e a detecção foi indireta. Mesmo assim, o experimento é considerado consistente (*i.e.*, uma *descoberta científica*) até hoje. Ou seja, durante mais um século, milhares de outros experimentos foram feitos (todos indiretos), com técnicas e tecnologias muito diferentes, e os achados continuam corroborando as descrições da mesma teoria. Quarks, por sua vez, são partículas fundamentais que formam os prótons e nêutrons do núcleo do átomo. Devido à uma propriedade chamada de confinamento de cores, quarks nunca estão sozinhos. Eles se combinam em partículas compostas chamadas hádrons. Quando se tenta remover um quark de um hádron, a energia usada produz um antiquark que volta ao estado anterior de hádron. A única forma de medir a massa de um quark é usando modelos computacionais para criar simulações da interação do quark com o glúon - partícula que une os quarks (conf. KENNEL, 2016). Como se vê, os quarks também não são detectados diretamente, mas mesmo assim é possível sua manipulação.

Além disso, as pesquisas em Mecânica Quântica frequentemente fazem uso de aceleradores de partículas, como Large Hadron Collider (LHC) nas proximidades de Genebra, Suíça, operado pela CERN; o Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC), operado pelo Brookhaven National Laboratory, em New York; e o já

desativado Tevatron operado pela Fermilab, em Batavia, Illinois. Mas como eles funcionam? Vejamos:

Os aceleradores de partículas usam campos elétricos para acelerar e aumentar a energia do feixe de partículas, que são direcionadas e focalizadas por campos magnéticos. A fonte de partículas fornece as partículas, como prótons ou elétrons, que devem ser aceleradas (DOTSON, 2014)²²³.

Aceleradores de partículas são ferramentas essenciais para que físicos possam estudar partículas subatômicas e desvendar as perguntas mais básicas do universo, como a “compreensão das partículas fundamentais e das leis físicas que governam a matéria, energia, espaço e tempo” (idem, ibidem). Como isso é possível? Examinemos:

Um acelerador impulsiona partículas carregadas, como prótons ou elétrons, em altas velocidades, perto da velocidade da luz²²⁴. Eles são então esmagados contra um alvo ou contra outras partículas que circulam na direção oposta. Ao estudar essas colisões, os físicos são capazes de examinar o mundo do infinitamente pequeno.

Quando as partículas são suficientemente energéticas, ocorre um fenômeno que desafia a imaginação: a energia da colisão é transformada em matéria na forma de novas partículas, as mais massivas das que existiam no início do Universo. Este fenômeno é descrito pela famosa equação de Einstein $E = mc^2$, segundo a qual a matéria é uma forma concentrada de energia e as duas são intercambiáveis.

O Large Hadron Collider é o acelerador mais poderoso do mundo. Ele impulsiona as partículas, como os prótons, que formam toda a matéria que conhecemos. Acelerados a uma velocidade próxima à da luz, eles colidem com outros prótons. Essas colisões produzem partículas massivas, como o bóson de Higgs ou o quark top. Ao medir suas propriedades, os cientistas aumentam nossa compreensão da matéria e das origens do Universo. Essas partículas massivas duram por apenas um piscar de olhos e não podem ser observadas diretamente. Quase imediatamente, eles se transformam (ou decaem) em partículas mais leves, que por sua vez também decaem. As partículas que emergem dos elos sucessivos dessa cadeia de decaimento são identificadas nas camadas do detector (CERN, 2021)²²⁵ (G.n.).

²²³ No original: *Particle accelerators use electric fields to speed up and increase the energy of a beam of particles, which are steered and focused by magnetic fields. The particle source provides the particles, such as protons or electrons, that are to be accelerated.*

²²⁴ Somente partículas sem massa, como fótons, viajam na velocidade da luz.

²²⁵ No original: *An accelerator propels charged particles, such as protons or electrons, at high speeds, close to the speed of light. They are then smashed either onto a target or against other particles circulating in the opposite direction. By studying these collisions, physicists are able to probe the world of the infinitely small.*

When the particles are sufficiently energetic, a phenomenon that defies the imagination happens: the energy of the collision is transformed into matter in the form of new particles, the most massive of which existed in the early Universe. This phenomenon is described by Einstein's famous equation $E=mc^2$, according to which matter is a concentrated form of energy, and the two are interchangeable.

Além da detecção ser indireta, os achados são estatísticos. Obviamente não é uma tarefa fácil lançar dois prótons acelerados por quilômetros a velocidades próximas à da luz e fazê-los colidir, pois eles devem estar no exato ponto em dado momento. A solução é lançar vários deles, pois mesmo que uma grande quantidade erre o alvo, ainda restarão muitas colisões para serem analisadas. Em tais ordens de magnitude, discrepâncias, ou mais propriamente *flutuações estatísticas*, são esperadas. Sendo assim, é preciso que haja uma certa coincidência de comportamentos - repetições nos achados - para que o experimento seja validado. Por exemplo, não são incomuns experimentos em que a taxa de decaimentos de determinadas partículas não sai como previsto, como no recente experimento do LHCb:

O detector LHCb (Large Hadron Collider beauty) é um experimento que estuda os decaimentos dos mésons B - partículas que contêm beauty quarks. Durante uma sessão virtual da conferência anual *Rencontres de Moriond* na terça-feira, quase 1.000 físicos assistiram enquanto a colaboração do LHCb anunciava evidências de uma discrepância inexplicada no comportamento dos elétrons e seus primos mais pesados, múons²²⁶ (GARISTO, 2021).

Em casos assim, é necessário um criterioso estudo estatístico e criar padrões que previnam erros na interpretação dos dados. No experimento do LHCb, os achados estranhos foram considerados *evidências*, mas não *descobertas*, segundo os altos padrões de checagem. Analisemos:

Os achados têm uma significância estatística de 3,1 sigma, que atende o patamar padrão para evidências em física de partículas. Precisamente falando, 3,1 sigma significa que, na ausência de uma nova lei da Física, as flutuações estatísticas ainda levariam os pesquisadores a ver uma

The Large Hadron Collider is the most powerful accelerator in the world. It boosts particles, such as protons, which form all the matter we know. Accelerated to a speed close to that of light, they collide with other protons. These collisions produce massive particles, such as the Higgs boson or the top quark. By measuring their properties, scientists increase our understanding of matter and of the origins of the Universe. These massive particles only last in the blink of an eye, and cannot be observed directly. Almost immediately they transform (or decay) into lighter particles, which in turn also decay. The particles emerging from the successive links in this decay chain are identified in the layers of the detector.

²²⁶ No original: *LHCb (Large Hadron Collider beauty) detector, an experiment studying the decays of B-mesons—particles that contain beauty quarks. During a virtual session of the annual Rencontres de Moriond conference on Tuesday, nearly 1,000 physicists watched as the LHCb collaboration announced evidence for an unexplained discrepancy in the behavior of electrons and their heavier cousins, muons.*

discrepância entre elétrons e múons de 15 por cento ou mais (a que foi a encontrada no experimento) uma vez a cada 740 vezes que realizaram o experimento. Embora isso pareça sugerir que a discrepância múon-elétron observada é quase certamente mais do que uma simples miragem, o efeito três sigma, na verdade, fica bem aquém do padrão ouro de descoberta em física de partículas: cinco sigma, que seria como refazer o experimento 3,4 milhões de vezes antes de ver um acaso estatístico tão grande. (Esses números são sutilmente diferentes: de uma chance em 740 a uma em 3,4 milhões de estar errado.)

Por que, então, tanto barulho por causa das estatísticas? No LHCb e em outros experimentos, várias discrepâncias de dois e três sigma entre elétrons e múons surgiram ao longo dos anos. Mas até agora, nenhum desses resultados se sustentou: assim que mais dados foram coletados, as diferenças entre os léptons vão diminuindo até desaparecer, deixando o Modelo Padrão (*i.e.*, a teoria vigente) triunfante²²⁷ (GARISTO, 2021).

De todo modo, a confirmação empírica, embora mais complexa nestes casos, continua sendo um passo importante para a validação das teorias científicas, mesmo que a confirmação seja estatística, como as usadas pelos físicos de partículas.

Mas será que nesses casos em que não é possível a detecção direta, contudo o modelo da teoria prevê corretamente os fenômenos decorrentes, merece menos confiança do que fenômenos que avistamos a olho nu, por exemplo? Sabemos que a visão é apenas uma forma de extrair dados do mundo - e não é necessariamente a mais confiável. Há vários erros de percepção oriundos da visão, como galhos aparentemente dobrados pela refração da luz na água, miragens, ilusões de ótica, erros de perspectivas etc. Demais, a detecção direta (por observação ou por qualquer outra forma) não é ontologicamente superior à detecção indireta. Porque seria? Expliquemos com mais vagar. A fonte (epistêmica) que gera o conhecimento pode ser diferente (*v.g.* visão, detectores, computação, estatística etc.), contudo não há diferença ontológica (em relação à natureza, realidade ou

²²⁷ No original: *The finding has a statistical significance of 3.1 sigma, which meets the standard baseline for evidence in particle physics. Precisely speaking, 3.1 sigma means that in the absence of new physics, statistical fluctuations would still lead the researchers to see a discrepancy between electrons and muons of 15 percent or more once every 740 times they performed the experiment. Although this would seem to suggest the observed muon-electron discrepancy is almost certainly more than a mirage, the three-sigma effect, in fact, falls well short of the gold standard of discovery in particle physics: five sigma, which works out to running the experiment 3.4 million times before seeing a statistical fluke that large. (These figures are subtly but importantly different from a one-in-740 or one-in-3.4-million chance of being wrong.)*

Why all the fuss about statistics? At LHCb and other experiments, numerous two- and three-sigma discrepancies between electrons and muons have popped up across the years. But so far, none of these results has held up: once more data were collected, the differences between leptons faded away, leaving the Standard Model triumphant.

existência dos entes) que justifique a preferência de uma fonte como mais fidedigna em relação à outra. Contudo, para ter acesso epistêmico a entidades que não são diretamente detectáveis, precisamos nos basear em teorias e processos inferenciais, o que poderia aumentar a chance de erro. Não obstante, quando os dados são obtidos indiretamente, mas por meio de vários experimentos e abordagens diferentes e as previsões são confortavelmente corroboradas empiricamente, existem bons motivos para acreditar na veracidade do experimento - e da teoria.

5.3. Indetectável não é Ininteligível

Nas seções anteriores vimos em nuances como entidades podem ser detectáveis direta ou indiretamente. Contudo, mesmo em algumas hipóteses em que não há ainda nenhuma confirmação empírica, poderá ser possível algum acesso epistêmico. Isso porque a ontologia das teorias é construída também com base empírica, todavia as previsões podem ir muito além do que já foi confirmado - ou do que pode ser testado com as tecnologias e técnicas disponíveis. O que quero dizer com isso é que boas teorias científicas têm contato com a realidade e, sendo assim, são construídas, tanto quanto possível, com base empírica em fenômenos já testados, mas pode ser possível fazer grandes extrapolações a partir dos padrões descobertos. Vimos em 3.4.1.1. *A busca por explicações mais simples*, que elementos químicos, com suas respectivas propriedades, foram previstos muito antes de serem descobertos. Isso porque a teoria fora tão bem construída, que já antevia as peças que faltavam, baseando-se na estrutura e no esquema conceitual previamente concebidos.

Este é um forte argumento em favor do realismo científico, na medida em que é possível que teorias tragam descrições aproximadamente verdadeiras acerca dos entes e eventos que nunca foram detectados. Com o progresso tecnológico, eventualmente haverá a possibilidade de confirmação empírica, direta ou indireta, que confirmará as previsões de outrora. Assim, a confirmação dessas teorias tanto é indicativa do sucesso da ciência quanto da importância do papel do progresso tecnológico para o avanço científico.

Neste passo de ideias, o buraco negro também surgiu em teoria, com previsões excêntricas e ousadas, muito antes da sua confirmação empírica mais de cem anos depois. Após a confirmação empírica de vários fenômenos relacionados, como pulsares, ondas gravitacionais etc. e, por fim, a observação de um buraco negro, é atualmente pouco crível afirmar que tais entidades sejam apenas excentricidades interessantes. Buraco negros são entes reais que existem na realidade, tanto quanto a cadeira mais próxima. Dessa forma, *Pōwehi* é o

referente²²⁸ que aponta para um buraco negro localizado no centro da Galáxia Messier 87, cuja imagem fora divulgada em 10 de abril de 2019.

Naturalmente, buracos negros já eram entes reais muito antes de serem previstos matematicamente e puderam ser descritos corretamente, até onde a ciência foi capaz de medir, por meio de teorias muito bem embasadas na realidade. Agora, uma coisa é afirmar que existam buracos negros, outra diferente é apontar casos específicos ainda não suficientemente investigados. Um artigo recentemente publicado questiona a existência de um grande buraco negro no centro da nossa Via Láctea, que muitos cientistas ainda acham provável. Vejamos: “Uma equipe de pesquisadores do Centro Internacional de Astrofísica Relativística encontrou evidências que sugerem que Sagitário A * não é um buraco negro massivo, mas sim uma massa de matéria escura”²²⁹ (YIRKA, 2021). Segundo a equipe de cientistas:

O potencial gravitacional no Centro Galáctico (CG) é dominado por um objeto compacto supermassivo, Sagitário A * (Sgr A *), há muito considerado um buraco negro massivo...

Diante do exposto, exploramos a possibilidade de uma natureza alternativa para Sgr A * com base no perfil de matéria escura fermiônica (*i.e.*, relativa à partícula férmion) predito pelo modelo Ruffini-Argüelles-Rueda²³⁰ (RAR)²³¹ (BECERRA-VERGARA et al, 2021).

Assim, “Sagitário A **” é um referente que aponta para um objeto compacto e supermassivo no centro da Via Láctea, que pode ser um buraco negro, uma massa de matéria escura ou outra coisa. Sendo assim, muitos dados ainda precisam ser coletados e estudados para que haja uma definição sobre a natureza do massivo objeto no centro da Via Láctea. Até o momento, temos apenas tênues

²²⁸ Neste sentido: *Referência é uma relação que existe entre certos tipos de tokens e objetos representacionais. Por exemplo, quando afirmo que "Barack Obama é um democrata", uso um tipo particular de token representacional - ou seja, o nome 'Barack Obama' - que se refere a um determinado indivíduo - ou seja, Barack Obama (MICHAELSON, 2019).*

No original: *Reference is a relation that obtains between certain sorts of representational tokens and objects. For instance, when I assert that "Barack Obama is a Democrat," I use a particular sort of representational token—i.e. the name 'Barack Obama'—which refers to a particular individual—i.e. Barack Obama.*

²²⁹ No original: *A team of researchers at the International Center for Relativistic Astrophysics has found evidence that suggests Sagittarius A* is not a massive black hole but is instead a mass of dark matter.*

²³⁰ Para mais detalhes: RUFFINI, Remo et al, 2014.

²³¹ No original: *The gravitational potential in the Galactic Center (GC) is dominated by a supermassive compact object, Sagittarius A* (Sgr A*), long thought to be a massive black hole... In view of the above, we have dived into the possibility of an alternative nature for Sgr A* based on the fermionic DM (Dark Matter) profile predicted by the Ruffini-Argüelles-Rueda (RAR) model...*

observações indiretas e nenhuma teoria pôde ser validada, mas isto é parte do instigante processo científico de apuração dos eventos.

Contudo, quando novas teorias surgem, com suas previsões ousadas, muitas vezes são desacreditadas até as sucessivas confirmações empíricas aumentarem a sua força probante. Olhando em retrospecto é sempre mais fácil compreender do que prospectivamente dizer quais teorias serão eventualmente validadas. O grande desafio parece ser separar o joio do trigo entre teorias ainda meramente especulativas e as metafisicamente sólidas (bem fundadas), mas ainda sem experimentos corroborativos. Há, neste contexto, um franco debate entre diferentes correntes de cientistas em como a ciência deve ser feita. De um lado, alguns teóricos argumentam que teorias suficientemente elegantes e com grande poder explicativo, prescindem de testes empíricos²³². Por outro lado, outros cientistas respondem que os exageros de certas teorias puramente especulativas, minam o método científico. A História da Ciência traz exemplos elucidativos:

Teorias como a mecânica quântica e a relatividade deram certo porque fizeram previsões que sobreviveram aos testes. No entanto, numerosos exemplos históricos apontam para como, na ausência de dados adequados, ideias elegantes e convincentes levaram os pesquisadores na direção errada, das teorias geocêntricas do cosmos de Ptolomeu²³³ à 'teoria do vórtice' do átomo de Lord Kelvin²³⁴ e o estado estacionário perpétuo do Universo de Fred Hoyle^{235 236} (ELLIS; SILK, 2014, pp. 322/323).

²³² Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), físico teórico inglês, laureado com o Nobel de Física em 1933, teria dito que: “É mais importante ter beleza nas equações do que fazer com que elas se encaixem no experimento... A discrepância pode muito bem ser devido a características menores... que serão esclarecidas com desenvolvimentos posteriores” (conf. RATCLIFFE, 2016).

No original: It is more important to have beauty in one's equations than to have them fit experiment...The discrepancy may well be due to minor features...that will get cleared up with further developments.

²³³ O astrônomo, matemático e cientista grego Cláudio Ptolomeu (circa 85-165 d.C.) concebeu, no século II d.C. uma teoria geocêntrica considerada por muitos séculos mais simples e eficiente para explicar o movimento dos corpos celestes (conf. KHAN ACADEMY, 2021).

²³⁴ William Thomson, físico do séc. XIX cujo trabalho lhe rendeu o título de Lord Kelvin, acreditava que os átomos seriam vórtices em um éter que permeia o espaço (conf. WILCZEK, 2011).

²³⁵ Sir Fred Hoyle, (1915-2001), matemático e astrônomo inglês conhecido por propor, em 1948, a teoria do Universo Estacionário, hoje desacreditada, que sustenta que o universo está se expandindo e que a matéria está sendo criada continuamente (conf. BRITANNICA, 2021).

²³⁶ No original: *Theories such as quantum mechanics and relativity turned out well because they made predictions that survived testing. Yet numerous historical examples point to how, in the absence of adequate data, elegant and compelling ideas led researchers in the wrong direction, from Ptolemy's geocentric theories of the cosmos to Lord Kelvin's 'vortex theory' of the atom and Fred Hoyle's perpetual steady-state Universe.*

A teoria das cordas ou das singularidades (que existiriam nos centros dos buracos negros e nos primeiros instantes da formação do universo), dadas as imensas dificuldades de testabilidade, encaixam-se perfeitamente neste debate. O mesmo se diga de outras teorias excêntricas como dos multiversos e dos buracos de minhocas. Woit (2006) defende que o fracasso da teoria das cordas em unificar Mecânica Quântica e Relatividade Geral e de outras teorias (meramente) especulativas, tornam seus criadores *teoristas sem teorias*, dada a absoluta carência de previsões específicas com *potencial de testabilidade*. Muitas teorias não contam sequer com embasamento matemático para que possam ser consideradas teorias científicas. O físico Wolfgang Pauli, ganhador do Nobel de Física em 1945 e um dos pioneiros na pesquisa na Mecânica Quântica, teria dito certa vez, ao ser perguntado sobre uma destas teorias excêntricas, que “ela não chega sequer a estar errada²³⁷” (idem, ibidem, p. 6). É dizer, são teorias tão vagas e tão improváveis de serem testáveis, que é difícil qualificá-las como teorias científicas. Não se pode dizer que sejam mais do que meras hipóteses.

A História da Ciência, novamente, parece trazer lições valiosas, como alega Castelvechi (2015):

O historiador da ciência Helge Kragh, da Universidade de Aarhus, na Dinamarca, baseou-se na perspectiva histórica. “Sugestões de que precisamos de ‘novos métodos de ciência’ já foram feitas antes, mas as tentativas de substituir a testabilidade empírica por alguns outros critérios sempre falharam”, disse ele²³⁸.

É preciso entender a diferença entre teorias científicas bem estabelecidas por experimentos e teorias meramente especulativas (idem, ibidem). De resto, (conf. DAWID, 2013) os teoristas das cordas frequentemente usam critérios meramente teóricos, como consistência interna (p. 22) e ausência de alternativas críveis (p. 22) para validar suas teorias. O problema parece ser o estágio ainda muito preliminar destas teorias. Ainda segundo o mesmo autor:

Espera-se que uma teoria alcance um estado teórico amplamente completo dentro de um período de tempo razoável. Somente depois de ter alcançado um estado razoavelmente completo, uma teoria permite uma avaliação

²³⁷ No original: *Das ist nicht einmalfalsch*.

²³⁸ No original: *Historian of science Helge Kragh of Aarhus University in Denmark drew on historical perspective. “Suggestions that we need ‘new methods of science’ have been made before, but attempts to replace empirical testability with some other criteria have always failed,” he said.*

completa de sua consistência interna e pode fornecer previsões quantitativas de dados empíricos. A teoria, então, pode ser submetida a testes empíricos dentro de um período de tempo limitado, a fim de decidir se um trabalho adicional ao longo das linhas sugeridas pela teoria faz sentido ou, no caso de a teoria ser empiricamente falsa, seria uma perda de tempo²³⁹ (pp. 22/23).

Segundo o mesmo autor, mesmo após mais de quatro décadas, a Teoria das Cordas não alcançou este patamar e não poderia ser dita um caso de sucesso científico (idem, ibidem, p. 23). As condições de testabilidade de uma teoria continuam sendo indispensáveis, mesmo que potencialmente, a depender de melhorias tecnológicas. Contudo, às vezes este é um processo demorado, que requer o amadurecimento das candidatas a teorias viáveis, como se vê:

Uma concepção teórica deve atender a certas pré-condições estruturais para ser considerada uma candidata a uma teoria científica viável: ela deve constituir um arcabouço teórico amplamente completo e internamente coerente; e tem que oferecer previsões quantitativas para que a parte empírica possa ser testada²⁴⁰ (idem, ibidem, p. 42).

Este ponto final é deveras importante. Sem previsões quantitativas que sejam potencialmente testáveis, a hipótese não pode ser convertida em teoria.

De tudo que foi dito, queremos enfatizar que indetectável não é ininteligível, pois é possível acesso epistêmico às teorias e previsões teóricas ainda não testadas. Contudo, a teoria precisa ter lastro na realidade e não pode ser mera especulação com base em conceitos vagos como coerência interna e ausência de melhores candidatas e, ainda, sem qualquer base em fenômenos já confirmados. A teoria científica poderá, contudo, extrapolar novos fatos ainda não testados a partir de fenômenos já testados. Além disso, a teoria deve fazer previsões passíveis de testabilidade (confirmação empírica), mesmo que potencial (a depender de eventuais progressos tecnológicos).

²³⁹ No original: *A theory is expected to reach a largely complete theoretical state within a reasonable period of time. Only after having reached a fairly complete state does a theory allow for a full assessment of its internal consistency and can it provide quantitative predictions of empirical data. The theory then can be expected to undergo empirical testing within a limited time frame in order to decide whether further work along the lines suggested by the theory makes sense or, in the case the theory was empirically false, would be a waste of time.*

²⁴⁰ No original: *A theoretical conception has to meet certain structural preconditions in order to count as a candidate for a viable scientific theory: it has to constitute a largely complete and internally coherent theoretical structure; and it has to offer quantitative predictions the empirical side can aim to test.*

5.4. Acesso Epistêmico aos Inobserváveis

A concepção realista da ciência que defendemos leva a sério as descrições das entidades e explicações acerca dos eventos dadas pelas melhores teorias científicas. Ainda quando nem mesmo a detecção indireta for possível, as melhores teorias científicas possibilitam acesso epistêmico às entidades descritas. Ou seja, mesmo em casos em que a entidade (ainda) não seja detectável, é possível, no mínimo, a partir de boas teorias, a compreensão dos elementos que concorrem para o funcionamento do evento e, assim, fazer previsões baseadas nessas regularidades (as chamadas *leis científicas*) e às vezes até sua manipulação, como no caso já visto dos quarks/hádrons. Os referentes descritos por estas teorias apontam para coisas reais que existem no mundo. Esta posição não é partilhada pelos empiristas, na medida em que eles não se permitem extrapolar conclusões além dos experimentos. Grosso modo, pode-se dizer que “Os empiristas afirmam que a experiência dos sentidos é a fonte última de todos os nossos conceitos e conhecimentos²⁴¹” (MARKIE, 2017). Empiristas tenderão a ver considerações sobre entes indetectáveis como mero exercício de metafísica especulativa, sem contato com a realidade. Assim:

Dizer que há um conflito entre a metafísica e o empirismo "simpliciter" é muito forte, uma vez que muitos empiristas fazem a metafísica como ela é entendida de forma mais ampla, como o estudo dos primeiros ou princípios básicos da filosofia, sendo "enquanto" ser, e a natureza das coisas que existem. A metafísica que os empiristas rejeitam diz respeito ao inobservável e, portanto, qualquer posição que endossa especulações desse tipo, levando a crenças substantivas sobre detectáveis ou indetectáveis, é inaceitável para eles²⁴² (CHAKRAVARTTY, p. 16).

Por outro lado, “Sob certas condições, os realistas pensam que é razoável inferir a verdade aproximada de nossas melhores teorias envolvendo inobserváveis²⁴³” (CHAKRAVARTTY, p. 24). Nesta perspectiva, o conceito de

²⁴¹ No original: *Empiricists claim that sense experience is the ultimate source of all our concepts and knowledge.*

²⁴² No original: *To say that there is a conflict between metaphysics and empiricism simpliciter is too strong, since many empiricists do metaphysics as it is understood most broadly, as the study of the first or basic principles of philosophy, being qua being, and the natures of things that exist. The metaphysics that empiricists disavow concerns the unobservable, and thus any position that endorses speculation of this sort, leading to substantive beliefs about detectables or undetectables, is unacceptable to them.*

²⁴³ No original: *Under certain conditions, realists think it is reasonable to infer the approximate truth of our best theories involving unobservables...*

verdade aproximada, mesmo dos entes indetectáveis, é imprescindível para justificar a meta indução otimista, ou seja, a crença de que as teorias científicas podem evoluir e buscar descrições ainda mais precisas dos fenômenos (observáveis) e eventos (inobserváveis). Relembrando, o conceito de verdade aproximada, como nós entendemos, é uma descrição/explicação suficientemente precisa sobre entes/eventos, diferenciando-se da verdade absoluta que seria a descrição/explicação cabal, completa, em todas as minúcias e em todos os cenários possíveis. E, ainda, diametralmente oposto ao conceito de falsidade, que seria uma descrição/explicação errada, sem contato com a realidade, dizendo, por exemplo, que: entes inexistentes existam (como nas Teorias do Éter de Hendrik Lorentz (1853-1928) e Henri Poincaré (1854-1912)); ou negar a existência de entidades que existam (como elétrons, buracos negros etc.); ou que eventos inexistentes (como a Teoria Geocêntrica, vez que a Terra não é estacionária) existam; ou propor uma causalidade inexistente como explicação de um fenômeno (como fazem as previsões astrológicas); ou afirmar um fato que simplesmente não se conforma com a realidade (como Teorias Terraplanistas); etc.

De todo modo, não é porque certa entidade ou evento é previsto pela teoria, mas (ainda) não é detectável que a ciência não continuará comprometida com esforços para detectá-lo e torná-lo um fenômeno *observável*. A manipulação dos entes e sua conseqüente mensuração continua sendo parte importante do processo científico, especialmente para confirmação empírica das previsões. Esta manipulação poderá até mesmo permitir correções ou melhores detalhamentos da teoria concebida apenas teoricamente, aumentando a sua aproximação da verdade. O fundamental, em todo caso, para o comprometimento realista que aqui defendemos é que é as melhores teorias do presente possibilitam o acesso epistêmico aos inobserváveis.

6. CONCLUSÕES

Como já retratado, defendo a meta indução otimista, ou por outra, a crença que as teorias científicas tendem a progredir ao longo do tempo. De um modo geral, as teorias atuais tendem a ser melhores do que as teorias de cinquenta, cem ou quinhentos anos atrás. Assim é, porque a ciência progride e melhora a representação da realidade por meio de descrições de eventos e entes em suas teorias. Para fazer esta defesa, mostrei que endosso outra teoria da Filosofia da Ciência: o realismo científico. Para os realistas, as melhores teorias científicas da atualidade são aproximadamente verdadeiras em suas descrições do mundo e explicações dos eventos/fenômenos. O conceito de aproximação da verdade, como apontado, é importante para demonstrar a possibilidade de um progresso contínuo. Vamos recapitular, muito rapidamente, alguns dos conceitos estudados anteriormente.

6.1. A Meta Indução Otimista

A meta indução otimista, como dito alhures, é uma resposta à sua antítese mais famosa: a meta indução pessimista. Os pessimistas argumentam que, se as teorias do passado têm sido refutadas e substituídas por outras até serem substituídas pelas teorias atuais, num processo que já é perene, é mais razoável supor que este processo se perpetuará. Vista sob esta ótica, a ciência parece não fazer sentido, ou pelo menos, ser contraproducente. Teria ainda, é verdade, valor prático, mas esta compreensão parece ser insuficiente e excessivamente cética. A resposta apresentada foi a adoção do realismo científico, enquanto crença que as teorias científicas representam a realidade como realmente ela é, e o conceito de verdade aproximada, isto é, que as descrições teóricas podem sempre, em tese, ser aperfeiçoadas.

Em todo caso, para melhor contextualização, é importante entender que este método de analisar os padrões do passado e tentar projetá-los para o futuro é uma das formas da *generalização por indução*, ou *método indutivo*. Mostramos que as teorias científicas tendem a se aperfeiçoar e novas teorias podem apresentar avanços epistêmicos (são mais explicativas) e semânticos (modelos que

representam a realidade mais verdadeiramente). O prefixo *meta* quer dizer que estamos analisando um nível acima, ou seja, estamos estudando um processo que gera outros processos. Em outros termos, analisamos como o método científico dá origem às teorias científicas e estamos justificando uma teoria sobre aquelas teorias.

6.1.1. O que pretendemos ter demonstrado?

Nosso intento é ter demonstrado que os pessimistas estão errados e que temos bons indícios para acreditar no progresso científico. As melhores teorias do presente podem ser melhores do que as teorias do passado, mas há espaço para muito mais progresso e melhores descrições dos eventos e entidades. Para tal, ao invés de falar em teorias refutadas por novas teorias, parecer ter mais cabimento pensar que melhores teorias trazem melhores descrições que são uma aproximação maior da verdade, sem que a teoria anterior seja necessariamente (totalmente) errada. Como expomos, ela pode apenas ser menos precisa em sua ontologia descritiva ou ignorar parte do fenômeno ou, ainda, desconsiderar alguns entes envolvidos no processo. Pode ser que a teoria não levou em considerações situações excepcionais, raras ou extremas.

6.1.2. O realismo científico

Para acreditar em progresso científico, é preciso acreditar que as descrições/explicações científicas são verdadeiras. Sendo assim, vimos que a ciência usa uma sequência de etapas para produzir conhecimento científico chamada de método científico. As teorias científicas expressam o conhecimento científico por meio de descrições das entidades do mundo e de explicações dos seus fenômenos. O realismo científico, como explicado, acredita que as descrições e explicações das teorias científicas são (aproximadamente) verdadeiras. O realista está comprometido com três dimensões distintas (conf. CHAKRAVARTTY, 2017):

- (1) Metafísica: a defesa que a realidade objetiva existe autonomamente da mente do ser cognoscente. É também a crença que os entes

descritos/explicados nas teorias existem na realidade, tal qual descritos/explicados - ou, pelo menos, aproximadamente;

(2) Semanticamente: é a alegação de que os postulados científicos são verdadeiros ou falsos;

(3) Epistemologicamente: é a convicção de que as teorias científicas geram conhecimento sobre a realidade.

Contudo, também vimos que existem graus de realismo, pois alguns realistas estão comprometidos apenas com a crença de que as melhores teorias científicas do presente apresentam descrições (aproximadamente) verdadeiras tão somente dos entes observáveis. Não é o que foi defendido aqui. Foi demonstrado que, mesmo nos casos limítrofes, onde a tecnologia ainda não tem meios para prover a detecção dos eventos, teorias científicas podem estar certas. Ou seja, teorias científicas podem detalhar eventos que não podem ser, atualmente dadas as condições tecnológicas atuais, detectados e, portanto, não podem ser confirmados empiricamente. Assim, a ciência utiliza-se em grande medida do empirismo, mas não se limita a ele, pois vai além dele.

6.1.3. O argumento do (não) milagre de Putnam

Entendido o que a meta indução otimista e o realismo científico são, examinamos que uma famosa resposta às convicções dos pessimistas em ciência. Trata-se do argumento defendido por Hilary Putnam para o sucesso da ciência, segundo o qual: ou as teorias vigentes, fruto de uma ciência madura, são aproximadamente verdadeiras ou as descrições e previsões que elas fazem funcionam por um milagre. Ou seja, as aplicações práticas da ciência estão a demonstrar que a ciência é um sucesso. Este sucesso não pode ser por mero acaso. Doutrinas realistas, segundo Putnam, são as únicas que oferecem uma descrição adequada da ciência e de como suas melhores teorias são um sucesso. Teorias antirrealistas, *a contrario sensu*, não conseguem explicar satisfatoriamente o sucesso da ciência, principalmente nos últimos cem anos ou mais. Mas para entender o sucesso das teorias atuais, como visto, devemos entender que os ramos da ciência amadurecem e quando isso ocorre, teorias aceitas pela respectiva comunidade tendem a ser aproximadamente verdadeiras. Putnam também defende

que o mesmo termo pode referir-se ao mesmo ente em teorias diferentes. Isso ocorre porque termos de teorias científicas são referentes que apontam para algo (real) no mundo. Dessa forma, elétrons, quarks e gravidade não são apenas conceitos científicos úteis. Eles e outros entes descritos pelas melhores teorias científicas realmente existem na realidade, tal qual descritos (ou muito aproximadamente). Vamos rever um exemplo de sucesso científico.

6.1.4. Teoria dos Buracos Negros

Em nossa pesquisa, apresentamos a Teoria dos Buracos Negros que nos oferece um caso de estudo muito interessante. Como visto, a teoria surge como um desdobramento da Teoria da Relatividade Geral, em 1915, embora o próprio Einstein fosse cético acerca de suas previsões. De todo modo, naquela época era impossível a corroboração empírica da teoria. A entidade buraco negro, descrita na teoria, era totalmente indetectável. Ao longo do tempo, novas tecnologias possibilitaram inúmeras descobertas em astronomia e astrofísica. Descrevemos alguns experimentos e como os dados empíricos indiretos foram se acumulando e aos poucos reforçando a teoria até o ponto que poucos cientistas dos campos envolvidos duvidassem da existência dos buracos negros. Em 10 de abril de 2019, a Event Horizon Telescope divulgou a primeira foto de um buraco negro. Assim, finalmente o fenômeno tornou-se observável. Neste caso, penso ter ficado evidente que teorias científicas podem descrever e explicar detalhadamente entes então indetectáveis e, com o avanço da tecnologia, eventualmente poderá haver a confirmação empírica tanto indireta quanto (e preferivelmente) direta.

6.1.5. A seleção pelas melhores teorias

Já ficou claro que defendo que há progresso científico, pois a ciência progride formulando melhores teorias que são aproximadamente verdadeiras, pois descrevem mais adequada e detalhadamente o mundo. Contudo, se vamos defender, como é o caso, que há progresso, devemos apresentar formas de aferir este progresso. Demonstrei que as principais formas de aferir o progresso científico são: incrementos no *poder explicativo*, no *poder preditivo* e *tecnológico*, além de melhores *medições*.

Uma teoria científica precisa ser uma descrição aproximadamente verdadeira do evento ou entidade. Por isso, o aumento no poder explicativo acarreta progresso epistêmico (aumenta o conhecimento) e semântico (torna a explicação mais verdadeira). Também relatamos que o objetivo será melhorar as explicações dos fenômenos, tornando-os mais simples e intuitivos, sem que haja perda na confirmação empírica.

O progresso da ciência também pode se dar no poder preditivo de suas teorias. Quando teorias são sistematicamente confirmadas empiricamente, as suas descrições ganham mais força probante, embora sempre possam eventualmente falhar. De todo modo, também vimos que para ter poder preditivo é necessário que haja possibilidade de confirmação empírica - pelo menos, potencial -, quer seja por meio de experimentos controlados ou em observação direta dos fenômenos naturais. A grande vantagem de teorias com grande poder preditivo, ou seja, capazes de descrever detalhadamente eventos que possam ser testados, é que, ao passarem por muitos e variados testes empíricos, haverá boas razões, corroboradas indutivamente, para confiar nas suas descrições dos fenômenos.

6.2. O Papel da Tecnologia

Mostramos que há atualmente uma grande demanda por incremento tecnológico nas pesquisas científicas, todavia nem sempre foi assim. A tecnologia é anterior à ciência e foram por muito tempo relativamente independentes. Contudo, desde a revolução científica, no século XVI, a relação de interdependência entre ciência e tecnologia passa a ser mais notória. Desde o século XX são quase indissociáveis. Novas tecnologias possibilitam a confirmação empírica dos fenômenos então previstos pelas teorias científicas e medições mais precisas pressionam o limite descritivo destas teorias. Dessarte, teorias serão confirmadas, com aumento do seu poder probante ou eventualmente aprimoradas ou surgirão novas teorias para explicar o fenômeno. Assim, por um lado, a ciência tira proveito dessas novas tecnologias e melhora suas descrições teóricas e, por outro, a ciência fomenta o progresso tecnológico.

Por fim, as pesquisas científicas também se beneficiam de tecnologias com ganhos cognitivos, por externalismo de conteúdo/processos mentais, com

processos computacionais que ampliam as capacidades humanas de processar, interpretar, reter conhecimento etc.

6.3. Concepção Realista dos Fenômenos Inobserváveis

Pudemos perceber que algumas entidades podem ser avistadas a olho nu. Outras podemos observar apenas com uso de microscópios, por serem muito pequenas, ou por telescópios, por estarem muito distantes. Algumas entidades são tão diminutas que são menores do que o comprimento de onda da luz visível e não poderão ser observadas nem em microscópios. Ou seja, podemos notar que a detecção é uma atividade mais ampla do que a observação. Mas não para por aí, como também vimos. A detecção pode se dar apenas indiretamente, pela ação de entidades indetectáveis em entes detectáveis. Por fim, alguns entes não são detectados e nem interagem, até onde sabemos. Navegamos por todas estas dificuldades com exemplos práticos para depois demonstrar que indetectável não é ininteligível. Muitos entes indetectáveis no passado foram previstos em teorias científicas e detectados posteriormente com o emprego de novas tecnologias. Exemplos pululam, como os buracos negros, elementos químicos da tabela periódica, múons, e o bóson de Higgs, teorizado em 1964 e confirmado empiricamente somente em 2013. Ao fim, como vimos, tudo isso demonstra que as melhores teorias científicas da atualidade podem ter acesso epistêmico aos inobserváveis, pois entidades foram descritas e explicadas muito antes de sua detecção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, Peter. **Classical Philosophy: A history of philosophy without any gaps**. Vol. 1. Oxford: Oxford University Press, 2014.

_____. **Philosophy in the Islamic World: A history of philosophy without any gaps**. Vol. 3. Oxford: Oxford University Press, 2016.

_____. **Medieval Philosophy: A history of philosophy without any gaps**. Vol. 4. Oxford: Oxford University Press, 2019.

ANDERSEN, Hanne; HEPBURN, Brian. Scientific Method. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2015. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-method/>. Acesso em: 01 dez. 2020.

ADRIAANS, Pieter. Information. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2020 (1 ed. 2012). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/information/>. Acesso em: 01 fev. 2021.

ALBON, Chris. **Machine Learning with Python Cookbook: Practical Solutions from Preprocessing to Deep Learning**. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2018.

ARISTOTLE. **Posterior Analytics**. Tradução de E.S. Bouchier. Londres: Simpkin, Marshall, Hamilton, Kent & CO., 1901.

_____. **Metaphysics**. Tradução de W. D. Ross. Adelaide: The University of Adelaide Library, 2015.

Ask a Mathematician / Ask a Physicist. **Are beautiful, elegant or simple equations more likely to be true?** 2012. Disponível em: <https://www.askamathematician.com/2012/06/q-are-beautiful-elegant-or-simple-equations-more-likely-to-be-true/>. Acesso em: 01 jun. 2020.

BAGGINI, Julian; FOSL, Peter S. **The Philosopher's Toolkit: A Compendium of Philosophical Concepts and Methods**. 2a. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010.

BAKER, Alan. Simplicity. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2016. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/simplicity/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

BALL, Philip. Celebrate the unknowns. **Nature**. Vol. 496, 2013, pp. 419–420.

BARRETT, Jeffrey A. Empirical Adequacy and the Availability of Reliable Records in Quantum Mechanics. **Philosophy of Science**, vol. 63, mar., 1996, pp. 49-64.

BARON, Sam; TALLANT, Jonathan. Do Not Revise Ockham's Razor Without Necessity. **Philosophy and Phenomenological Research**. Vol. 96, Issue 3, mai 2018, pp. 596-619.

BECERRA-VERGARA, Eduar Antonio. Hinting a dark matter nature of Sgr A* via the S-stars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters**, slab051 (MNRAS Letters). 20 mai. 2021.

BECKER, Katrin; BECKER, Melanie; SCHWARZ, John. **String theory and M-theory: A modern introduction**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

BERGSON, Henri. **Time and free will: an essay on the immediate data of consciousness**. 1ª ed. Tradução de F.L. Pogson. Londres: George Allen & Unwin LTD., 1910.

BOHM, David. A Suggested Interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables I. **Physical Review**, vol. 85, n.º 2, 15 jan. 1952, pp. 166-179.

_____. A Suggested Interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables II. **Physical Review**, vol. 85, n.º 2, 15 jan. 1952, pp. 180-193.

BOHR, Niels. **Essays 1958-1962 Atomic Physics And human knowledge**. Londres: Interscience publishers, 1963.

BOWLER, Peter J.; PICKSTONE, John V. **The Cambridge History of Science**. Vol. 6: The Modern Biological and Earth Sciences. Cambridge University Press, 2008.

BRITANNICA (editorial). Manhattan Project. **Encyclopædia Britannica, Inc.** Disponível em: <https://www.britannica.com/event/Manhattan-Project/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

BRITANNICA (editorial). Galactic halo. **Encyclopædia Britannica, Inc.** Disponível em: <https://www.britannica.com/science/galactic-halo/>. Acesso em: 25 jan. 2021.

BRITANNICA (editorial). Galactic halo. **Encyclopædia Britannica, Inc.** Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Fred-Hoyle/>. Acesso em: 09 jun. 2021.

CASTELVECCHI, Davide. Is String Theory Science? A debate between physicists and philosophers could redefine the scientific method and our understanding of the universe. **Nature**, vol. 528, pp. 446–447, 24 dez. 2015.

_____. Beguiling dark-matter signal persists 20 years on. **Nature**, vol. 556, pp. 13-14, 28 mar. 2018.

CERN - Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire. **Four decades of gluons.** Genebra, 2019. Disponível em: <https://home.cern/news/news/physics/four-decades-gluons/>. Acesso em: 30 nov. 2020

_____. **The Higgs boson.** Genebra, 2020. Disponível em: <https://home.cern/science/physics/higgs-boson/>. Acesso em 27 jul. 2020.

_____. **Accelerators: CERN hosts a gigantic complex of particle accelerators. But what are these machines and how do they work?** Disponível em: <https://home.cern/science/accelerators/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

_____. **The Standard Model.** Disponível em: <https://home.cern/science/physics/standard-model/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

CHAKRAVARTTY, Anjan. **A Metaphysics For Scientific Realism.** Nova Iorque: Cambridge University Press, 2007.

_____. Scientific Realism. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. ZALTA, Edward N. (editor), 2017 (1ª pub. 2011). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/realism/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CLARK, Andy; CHALMERS, David. **The Extended Mind**. Analysis (Oxford University Press), Vol. 58, n.º 1 (Jan., 1998), pp. 7-19.

CLERY, Daniel. **For the first time, you can see what a black hole looks like**. Abr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2019/04/black-hole/>. Acesso em: 15 mai. 2019.

COLUMBIA SURGERY. **History of Medicine: Dr. Roentgen's Accidental X-Rays**. Columbia University Irving Medical Center, Department of Surgery, New York, NY. Acesso em: 29/12/2020. Disponível em: <https://columbiasurgery.org/news/2015/09/17/history-medicine-dr-roentgen-s-accidental-x-rays/>.

CONNORS, Lissie. New Results Question Controversial Dark Matter Signals. **APS News: Physics**, vol. 28, n.º 5. Nova Iorque: American Physical Society, mai. 2019. Disponível em: <https://www.aps.org/publications/apsnews/201905/dark-matter.cfm/>. Acesso em: 25 jan. 2021.

CREATH, Richard. Logical Empiricism. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2017 (1ª pub. 2011). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/logical-empiricism/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

CRUPI, Vincenzo; FESTA, Roberto; BUTTASI, Carlos. Towards a Grammar of Bayesian Confirmation. **EPSA Epistemology and Methodology of Science**, jan. 1970, pp. 73–93.

CRUPI, Vincenzo. Confirmation. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2020 (1ª pub. 2013). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/confirmation/>. Acesso em: 20 dez. 2020.

DAMA. **Investigations on particle DArk MATter and other rare processes with highly radiopure scintillators**. 07 dez. 2020 (atualizado). Acesso em: 28 dez. 2020. Disponível em: <http://people.roma2.infn.it/~dama/web/home.html/>.

DARWIN, Charles. **On the Origin of Species** by Means Of Natural Selection, Or The Preservation Of Favoured Races In The Struggle For Life. Londres: John Murray, 1859.

DASTON, Lorraine. The History of Emergences Ian Hacking: The Emergence of Probability: A Philosophical Study of Early Ideas about Probability, Induction, and Statistical Inference. **Isis**, vol. 98, n.º 4, The University of Chicago Press, dec. 2007, pp. 801-808.

DAWID, Richard. **String Theory and the Scientific Method**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

DAWID, Richard; HARTMANN, Stepan. The no miracles argument without the base rate fallacy. **Synthese**, vol. 195, pp. 4063–4079 (2018)

DEAR, Peter. **The Intelligibility of Nature: How Science Makes Sense of the World**. Chicago: University of Chicago Press, 2006.

DELGADO, Vanino. Probability distribution of arrival times in quantum mechanics. **Physical Review A: Atomic, Molecular, and Optical Physics**. Vol. 57, Issue 2, fev. 1998, pp.762-770.

DEMING, David. **Science and Technology in World History**, vol. 2: Early Christianity, the Rise of Islam and the Middle Ages. Jefferson, Carolina do Norte e Londres: McFarland & Company, Inc., Publishers, 2010.

DESY - Deutsches Elektronen-Synchrotron. A research centre of the Helmholtz Association. Disponível em: https://www.desy.de/news/backgrounders/40_years_of_gluon/index_eng.html/. Acesso em: 30 nov. 2020.

DEWEY, John. **How we think**. Boston: D. C. Heath & Co., Publishers, 1910.

DEWITT, Richard. **An Introduction to the History and Philosophy of Science**. 3. ed. Hoboken: Wiley Blackwell, 2018.

DOTSON, Ben. **How Particle Accelerators Work?** U.S. Department of Energy. 18 jun. 2014. Disponível em:

<https://www.energy.gov/articles/how-particle-accelerators-work/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

EASTON, Valerie J.; MCCOLL, John H. **Statistics Glossary v1.1**. Disponível em: <http://www.stats.gla.ac.uk/steps/glossary/>. Acesso em: 25 jan. 2021.

EINSTEIN, Albert. **Relativity: The Special and General Theory**. Tradução de Robert W. Lawson. Londres: Methuen & Co. Ltd., 1916.

_____. On the Electrodynamics of Moving Bodies. (tradução de Zur Elektrodynamik bewegter Körper, in *Annalen der Physik*. 17:891, 1905.) Londres: Methuen and Company, Ltd., 1923.

_____. On the Method of Theoretical Physics. **Philosophy of Science**, vol. 1, n.º 2, abr. 1934, pp. 163-169.

_____. Science and Religion. **Nature**, 146, pp. 605–607, 09 nov. 1940.

EINSTEIN, Albert; *et al.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? **Physical Review**. Vol. 47, pp. 777/780, 15 mar. 1935.

ELLIS, George; SILK, Joe. Defend the integrity of physics. **Nature**, vol. 516, pp. 321-323, 25 dez. 2014.

EMSPAK, Jesse. 8 Ways You Can See Einstein's Theory of Relativity in Real Life. **Live Science** (Future US Inc.). 2017. Disponível em: <https://www.livescience.com/58245-theory-of-relativity-in-real-life.html/>. Acesso em: 16 mai. 2021.

Event Horizon Telescope. Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/>. Acesso em 08 nov. 2020.

_____. **Press Release (April 10, 2019): Astronomers Capture First Image of a Black Hole**. 01 out. 2020. Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole/>. Acesso: em 08 nov. 2020.

_____. **Einstein's Description of Gravity Just Got Much Harder to Beat.** 01 out. 2020. Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/blog/einsteins-description-gravity-just-got-much-harder-beat-0/>. Acesso em 08 nov. 2020.

FAYE, Jan. Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics. **Stanford Encyclopedia of Philosophy.** 2019 (1ª ed. 2002). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FEYERABEND, Paul K. Science Without Experience. **The Journal of Philosophy.** vol. 66, n.º 22 (nov. 20, 1969), pp. 791-794.

_____. **Against Method.** 3. ed. Londres: Verso, 1993.

FINE, Arthur. The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory. **Stanford Encyclopedia of Philosophy.** 2017 (1ª ed. 2004). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/qt-epr/#EinsVersArgu/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

FITZPATRICK, Simon. Simplicity in the Philosophy of Science. **Internet Encyclopedia of Philosophy (IEP).** U.S.A.: John Carroll University. Disponível em: <https://iep.utm.edu/simplici/#SSH1bii/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

FLORIDI, Luciano. What is Philosophy of Information? **Metaphilosophy.** Vol. 33, nn.º. 1/2 (jan. 2002), pp. 123-145. Oxford: Blackwell Publishers, 2002.

_____. **The Philosophy of Information.** Nova Iorque, Oxford: Oxford University Press, 2011.

FREGE, Gottlob. **On Sense And Reference.** (excerpt). Tradução de Max Kölbel de "Über Sinn und Bedeutung", Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik NF 100 (1892): 25–50. Em Darragh Byrne and Max Kölbel (eds), *Arguing about Language*, London: Routledge, 2009, pp. 49–55.

FREUDENRICH, Craig. **How the Periodic Table Works.** 2021. Disponível em: <https://science.howstuffworks.com/periodic-table.htm/>. Disponível em: 18 jan. 2021.

FRIGG, Roman; REISS, Julian. The philosophy of simulation: hot new issues or same old stew?. **Synthese**, vol. 169, mai. 2011.

FROST-ARNOLD, Greg. Was Tarski's Theory of Truth Motivated by Physicalism? **History and Philosophy of Logic**, vol. 25. n.º 4, nov. 2004.

GARISTO, Daniel. Unexplained Results Intrigue Physicists at World's Largest Particle Collider: Muons and electrons might not experience the same fundamental interactions, contrary to Standard Model predictions. **Scientific American** (Springer Nature). 25 mar. 2021. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/unexplained-results-intrigue-physicists-at-worlds-largest-particle-collider/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

GLANZBERG, Michael. Truth. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2006 (atualizado em 2018). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/truth/>. Acesso em: 26 mai. 2021.

GLASHOW, Sheldon Lee. Quarks With Color And Flavor. **Scientific American**, vol. 233, pp. 38-50, 1975.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Bengio; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series)**. MIT Press book, 2016.

GUINNESS WORLD RECORDS LIMITED. **Most accurate value of pi**. Londres, 2021. Disponível em: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/66179-most-accurate-value-of-pi/>. Acesso em: 06 jan. 2021.

HACKING, Ian. **Do We See Through A Microscope?** Pacific Philosophical Quarterly, vol. 62, pp. 305-322. Califórnia: University of Southern California, 1981.

HÁJEK, Alan. Interpretations of Probability. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2002 (atualizado em 2019). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/probability-interpret/>. Acesso em: 24 jan. 2021.

HALL, SUSANNA. **John O'sullivan: The Inventor Of Wi-fi**. Set. 30 2015. Disponível e: <https://susannarachelhall.wordpress.com/2015/09/30/john-osullivan/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

HANSEN, Hans. Fallacies. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2020 (1ª versão 2015). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/fallacies/>. Acesso em: 23 set. 2021.

HANSON, Claudia. **Documentation for Data on Maternal Mortality Historical information compiled for 14 countries (up to 200 years)**. Stockholm: The Gapminder Foundation, 2010.

HAWKING, Stephen W. **Godel and the End of Physics**. Palestra. Texas A&M University, 20 jul. 2002. Disponível em: <https://lappweb.in2p3.fr/~dinis/Hawking.pdf/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

HOYNINGEN-HUENE, Paul. Systematicity: The Nature of Science. **Philosophia**. vol. 36, n.º 2, jun. 2008, pp. 167-180.

HUBBLE. The NASA Hubble Space Telescope. **Celebrating 30 Years Of Discovery**. STScI - Space Telescope Science Institute: 2020. Disponível em: <https://hubblesite.org/hubble-30th-anniversary/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

HUME, David. **An Enquiry Concerning Human Understanding**. Oxford: Oxford University Press, 1777.

INGLIS-ARKELL, Esther. What are quarks, and why do they have colors and flavors? **GIZMODO**. Disponível em: <https://io9.gizmodo.com/what-are-quarks-and-why-do-they-have-colors-and-flavor-5905629/>. Acesso em: 27 nov. 2020.

Intel Corporation. **Over 50 Years of Moore's Law**. Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html/>. Acesso em: 25 mai. 2021.

INWAGEN, Peter Van; Meghan, SULLIVAN. Metaphysics. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2014. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/metaphysics/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

IVANOVA, Milena. Entity Realism. **PhilPapers**. Disponível em: <https://philpapers.org/browse/entity-realism/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

JONES, M. Tim. **Artificial Intelligence: A Systems Approach**. Hingham: Infinity Science Press LLC, 2008.

JONES, Nicola. Carbon dating, the archaeological workhorse, is getting a major reboot. **Nature**. 19 mai. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01499-y/>. Acesso em: 26 dez. 2020.

KENNEL, Joanne. How Do We Know Quarks Exist If They Have Never Been Directly Detected? **The Science Explorer**. 08 jan. 2016. Disponível em: <http://thescienceexplorer.com/universe/how-do-we-know-quarks-exist-if-they-have-never-been-directly-detected/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

KHAN ACADEMY. Claudius Ptolemy: An Earth-Centered View of the Universe. <https://www.khanacademy.org/claudius-ptolemy/>. Acesso em: 09 jun. 2021.

KHOSROW-POUR, Mehdi. **Encyclopedia of Information Science and Technology**, vol. 1-5. Hershey, Londres, Melbourne, Singapura: Idea Group Reference, 2005.

KIM, Tag Gon. **Artificial Intelligence and Simulation**. Berlim: Springer Science + Business Media, Inc., 2005.

KOBERLEIN, Brian. Understanding Quantum Mechanics: What is Electromagnetism? **Futurism**, mar. 2015. Disponível em: <https://futurism.com/understanding-quantum-mechanics-what-is-electromagnetism/>. Acesso em: 28 out. 2020.

KRIPKE, Saul A. **Naming and Necessity**. Harvard University Press, 1980.

KROEGER, Paul R. **Analyzing meaning An introduction to semantics and pragmatics**. Berlin: Language Science Press, 2018.

KUKLA, André. **Studies in Scientific Realism**. New York, Oxford: Oxford University, 1998.

KUHN, Thomas S. **The Structure of Scientific Revolutions**. 2. ed. (ampliada). Chicago: The University of Chicago Press, 1970.

LAUDAN, Larry. A Confutation of Convergent Realism. **Philosophy of Science**, vol. 48, n.º 1, mar. 1981, pp. 19-49. Chicago: The University of Chicago Press, 1981.

LIGO - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory. **About “aLigo”**. Pasadena: Mantida pela National Science Foundation, operada pela Caltech e MIT. Acesso em 31 mar. 2021. Acesso em: <https://www.ligo.caltech.edu/page/about-aligo/>.

LIN, Chia-Chiao. On the role of applied mathematics. **Advances in Mathematics**, vol. 19, n.º 3, mar. 1976, pp. 267-288.

MICHAEL J. LOUX; DEAN W. ZIMMERMAN (editores). **The Oxford Handbook Of Metaphysics**. Oxford: Oxford University Press, 2005.

LUCAS, Jim. What Is Electromagnetic Radiation? **Live Science**. Nova Iorque: Future US, Inc., 13 mar. 2015. Disponível em: <https://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MCCLELLAN III, James E.; DORN, Harold. **Science and Technology in Word History**. 2º ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2016.

MACÍAS, Alfredo; CAMACHO, Abel. On the incompatibility between quantum theory and general relativity. **Physics Letters B**, vol. 663. Elsevier, 2008, pp. 99–102.

MARKIE, Peter. Rationalism vs. Empiricism. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2017. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/rationalism-empiricism/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

MATEOS-APARICIO, Pedro; RODRÍGUEZ-MORENO, Antonio. The Impact of Studying Brain Plasticity. **Cell. Neurosci**. 13:66. Duke University, 27 fev. 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncel.2019.00066/full/>. Acesso em 03 jan. 2021.

MAX PLANCK INSTITUTE. Physicists Take a New Approach to Unify Quantum Theory and Theory of Relativity. **SciTechDaily**, 05 set. 2013. Disponível em:

<https://scitechdaily.com/physicists-take-new-approach-unify-quantum-theory-theory-relativity/>. Acesso em: 18 jan. 2013.

MAXWELL, Grover. The Ontological Status of Theoretical Entities. **Scientific explanation, space, and time. Preliminaries**, vol. 03. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962.

MICHAELSON, Eliot. Reference. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2019. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/reference/>. Acesso em: 07 jun. 2021.

MILL, John Stuart. **A System Of Logic, Ratiocinative And Inductive, Being A Connected View Of The Principles Of Evidence, And The Methods Of Scientific Investigation**. 8ª ed. Nova Iorque: Harper & Brothers, Publishers, 1882.

MONTON, Bradley; MOHLER, Chad. Constructive Empiricism. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2021 (1ª ed. de 2008). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/constructive-empiricism/>. Acesso em: 28 set. 2021.

MOORE, Gordon E. Cramming more components onto integrated circuits: With unit cost falling as the number of components per circuit rises, by 1975 economics may dictate squeezing as many as 65,000 components on a single silicon chip. **Electronics**, vol. 38, n.º 8, 19 abr. 1965.

MOUSMOULAS, Chstos. Probability vs Statistics: The difference between Probability and Statistics as well as the analysis of statistical approaches. **Towards Data Science**, 16 dez. 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/probability-vs-statistics-95f221cc74f7/>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MUELLER, Axel; FIN, Arthur. Realism, Beyond Miracles. **Hilary Putnam**. BEN-MENACHEM, Yemima (editor). Nova Iorque: Cambridge University Press, 2005.

MÜLLER, Andreas C.; GUIDO, Sarah. **Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists**. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2017.

MÜLLER, Florian. The Pessimistic Meta-induction: Obsolete Through Scientific Progress? **International Studies in the Philosophy of Science**, vol. 29, n.º 4, pp. 393-412. Londres: Taylor & Francis Group, 2015.

MULLER, Johan. Every picture tells a story: Epistemological access and knowledge. **Education as Change**, vol. 18, n.º 2, pp. 255-269. Cidade do Cabo: University of Cape Town, out. 2014

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **NASA's Orion Flight Test and the Journey to Mars**. 2014 (atual. 2017). Jim Wilson (editor). Disponível em: <https://www.nasa.gov/content/nasas-orion-flight-test-and-the-journey-to-mars/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

_____. **Dark Energy, Dark Matter**. Dr. Mamta Patel Nagaraja (responsável). Disponível em: <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

_____. **Nasa Patent Portfolio**. Disponível em: <https://technology.nasa.gov/patents/>. Acesso em: 16 mai. 2021.

_____. **20 Things We Wound't Have Without Space TRavel**. Disponível em: <https://www.jpl.nasa.gov/infographics/20-inventions-we-wouldnt-have-without-space-travel/>. Acesso em: 16 mai. 2021.

Nature Physics (editorial). A century of correct predictions. **Nat. Phys**, vol. 15, n.º 415, 02 mai. 2019.

NEURATH, Otto. 'Physicalism: The Philosophy of the Vienna Circle'. **Philosophical Papers 1913–1946**. R. S. Cohen and M. Neurath (editores). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1983, pp. 48-51.

LU, Donna. **How do you name a black hole? It is actually pretty complicated.** New Scientist (Space), 12 abr. 2019. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/2199578-how-do-you-name-a-black-hole-it-is-actually-pretty-complicated/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

NEWTON, Isaac. **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.** Londres: S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES, 1686.

NIH - National Human Genome Research Institute. **Human Genome Project FAQ.** 2020. Disponível em: <https://www.genome.gov/human-genome-project/Completion-FAQ/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

NIH - National Human Genome Research Institute. Deoxyribonucleic Acid (DNA) Fact Sheet. Disponível em: <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Deoxyribonucleic-Acid-Fact-Sheet/>. Acesso em: 04 mai. 2020.

NORTON, John D. From the Magnet and Conductor to the Relativity of Simultaneity. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 2006. Disponível em: https://www.pitt.edu/~jdnorton/Goodies/magnet_and_conductor/index.html/. Acesso em: 15 mai. 2021.

NYE, Mary Jo. **The Cambridge History of Science**, vol. 5: The Modern Physical and Mathematical Sciences. Cambridge University Press, 2008.

NOLA, Robert. The Optimistic Meta-induction And Ontological Continuity: The Case Of The Electron. **Boston Studies In The Philosophy Of Science.** COHEN, Robert S.; RENN, Jürgen; GAVROGLU, Kostas (editores). vol. 255. **Rethinking Scientific Change And Theory Comparison: Stabilities, Ruptures, Incommensurabilities?**. SOLER, Léna; SANKEY, Howard; HOYNINGEN-HUENE, Paul. (editores), pp. 159/206. Dordrecht: 2008.

OPPENHEIMER, Julius Robert. **Discurso para a Association of Los Alamos Scientists.** Los Alamos, New Mexico, 02 nov. 1945. Disponível em: <https://www.atomicarchive.com/resources/documents/manhattan-project/oppenheimer-farewell.html/>. Acesso em: 12 nov. 2020.

PARK, Seungbae. A Confutation of the Pessimistic Induction. **Journal for General Philosophy of Science**, vol. 42, n.º 1, pp. 75-84, 2011.

_____. Why Should We Be Pessimistic About Antirealists and Pessimists?. **Foundations of Science**, vol. 22, n.º 3, pp. 613-625, 2017.

_____. The Grand Pessimistic Induction. **Review of Contemporary Philosophy**, vol. 17, pp. 7-19, 2018.

PIAGET, Jean. **The Origins of Intelligence in Children**. Tradução de Margaret Cook. 3ª ed. (1ª ed. de 1952). Nova Iorque: International Universities Press. Inc., 1965.

POINCARÉ, Henri. **Science and Hypothesis**. Nova Iorque, Londres, Newcastle Upon Tyne: The Walter Scott Publishing Co., Ltd., 1905.

POPPER, Karl. **The Logic of Scientific Discovery**. Londres, Nova Iorque: Routledge, 2005 (tradução de “Logik der Forschung”, de 1935).

_____. **Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge**. Nova Iorque: Basic Books, 1962.

PORTER, Theodore M. **Probability and statistics**. Encyclopædia Britannica, Inc. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/probability/Risks-expectations-and-fair-contractsq> /. Acesso em: 24 jan. 2021.

PSALTIS, Dimitrios *et al.* (EHT Collaboration). Gravitational Test Beyond the First Post-Newtonian Order with the Shadow of the M87 Black Hole. **Phys. Rev. Lett.** 125, 141104. 1 out. 2020.

PUTNAM, Hilary. Mathematics, Matter and Method. **Philosophical Papers**, volume I. 1ª ed. West Hanover: Cambridge University Press, 1975.

_____. Mathematics, Matter and Method. **Philosophical Papers**, Volume I, 2ª ed. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1979.

QUINE, Willard Van Orman. The Scope and Language of Science. **British Journal for the Philosophy of Science**, vol. VIII, n.º 29, mai. 1957, pp. 1–17.

_____. **Word and Object**. Stanford: MIT Press, 1960.

_____. **Basic Readings From The Philosophy of W.V. Quine**. GIBSON, Roger F., Jr. (editor). The Belknap Press of Harvard University Press, 2004.

RAATIKAINEN, Panu. Gödel's Incompleteness Theorems. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2020 (1ª ed. de 2013). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/goedel-incompleteness/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

RAFFERTY, John P. What Darwin Got Right (and Wrong) About Evolution. **Encyclopædia Britannica, Inc.** Disponível em: <https://www.britannica.com/list/what-darwin-got-right-and-wrong-about-evolution/>. Acesso em: 19 dez. 2020.

RATCLIFFE, Susan (editora). **Oxford Essential Quotations**. 4 ed. Oxford University Press, 2016.

_____. **Oxford Essential Quotations**. 4 ed. Oxford University Press, 2016 (versão *on-line*). Disponível em: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780191826719.001.0001/q-or-o-ed4-00012451/>. Acesso em: 14 jul. 2021.

RILEY, James C. Estimates of Regional and Global Life Expectancy, 1800-2001. **Population and Development Review**, vol. 31, n.º 3. The Population Council Inc., set. 2005, pp. 537-543.

ROLIN, Kristina; WRAY, K. Brad. Social Empiricism and Science Policy. **Science Studies**, vol. 21, n.º 1, 2008, pp. 68-82.

ROSER, Max. **Mortality in the past – around half died as children**. Our World in Data. University of Oxford, jun. 11 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/child-mortality-in-the-past/>. Acesso em: 02 nov. 2020.

ROWLANDS, Mark; LAU, Joe; DEUTSCH, Max. Externalism About the Mind. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2020. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/content-externalism/>. Acesso em: 24 mai. 2021.

RUFFINI, Remo et al. On the core-halo distribution of dark matter in galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, vol. 451, n.º1, set. 2014.

SAMPLE, Ian. Stephen Hawking: 'There is no heaven; it's a fairy story'. Entrevista. **The Guardian**. 15 mai 2011. Disponível em: <https://www.theguardian.com/science/2011/may/15/stephen-hawking-interview-there-is-no-heaven/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

SCHRÖDINGER, Erwin. The Present Situation In Quantum Mechanics: A Translation Of Schrodinger's "Cat Paradox" Paper. Tradução de John Trimmer. **Proceedings of The American Philosophical Society**, vol. 124, 1980, pp. 232-238.

Science Learning Hub. **The microscopic scale**. Disponível em: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/497-the-microscopic-scale/>. Acesso em: 22 jan. 2021.

SEMMELEWEIS, Ignaz. The Etiology, Concept and Prophylaxis Of Childbed Fever (excerpts). **Classics In Social Medicine**, vol. 3, n.º 1, jan 2008.

SHALEV-SHWARTZ, Shai; BEN-DAVID, Shai. **Understanding Machine Learning**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2014.

SHALLIT, Jeffrey. **A Very Brief History of Computer Science**. University of Waterloo, verão de 1995. Acesso em: 31 mar. 2021. Disponível em: <https://cs.uwaterloo.ca/~shallit/Courses/134/history.html/>.

SHEEDY, Chris. **How Australian engineers solved one of wireless networking's biggest problems to make WiFi**. Create: Engineers Australia, ago. 12 2019. Disponível em: <https://www.createdigital.org.au/australian-engineers-solved-wireless-networkings-biggest-problems-make-wifi/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

SIEGEL, Ethan. Why Does Gravity Move At The Speed Of Light?. **Forbes Media LLC**, 2016. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2016/04/28/why-does-gravity-move-at-the-speed-of-light/>. Acesso em: 04 mai. 2020.

SIEGEL, Ethan. Ask Ethan: Are Quantum Fields Real? **Forbes Media LLC**, 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2018/11/17/ask-ethan-are-quantum-fields-real/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SIEGEL, Ethan. This Is Why Quantum Field Theory Is More Fundamental Than Quantum Mechanics. **Forbes Media LLC**, 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/04/25/this-is-why-quantum-field-theory-is-more-fundamental-than-quantum-mechanics/>. Acesso em: 23 dez. 2020.

SOLOMON, Miriam. **Social Empiricism**. Cambridge: MIT Press, 2001.

SPADE, Paul Vincent; PANACCIO, Claude. William of Ockham. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2019. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/ockham/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

STARK, Glenn. X-ray: radiation beam. **Encyclopædia Britannica, Inc.** Disponível em: <https://www.britannica.com/science/X-ray/>. Acesso em: 27 jan. 2021.

STRAWSON, Peter Frederick. **Individuals: An Essay in Descriptive Metaphysics**. Wiltshire: Redwood Books, 1959.

The Physics arXiv Blog. New Theory of Everything Unites Quantum Mechanics with Relativity ... and Much More. **Discover Magazine**, 24 abr. 2020. Disponível em: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/new-theory-of-everything-unites-quantum-mechanics-with-relativity-and-much/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

The Physics of the Universe: Difficult Topics Made Understandable. **Event Horizon And Accretion Disk**. 20 set. 2020. Disponível em: https://www.physicsoftheuniverse.com/topics_blackholes_event.htm/. Acesso em: 16 nov. 2020.

TARSKI, Alfred. The Semantic Conception of Truth: and the Foundations of Semantics. **Philosophy and Phenomenological Research**, vol. 4, n.º 3. International Phenomenological Society, mar. 1944, pp. 341-376.

The Royal Society. **History of the Royal Society**. Disponível em: <https://royalsociety.org/about-us/history/>. Acesso em: 24 out. 2020.

THOMPSON, Jason. **How Are Magnets & Electricity Related?** Sciencing, 25 abr. 2017. Disponível em: <https://sciencing.com/magnets-electricity-related-6368626.html/>. Acesso em: 19 jan. 2021.

TURYSHEV, Slava G.; *et al.* **Direct Multipixel Imaging And Spectroscopy Of An Exoplanet With A Solar Gravity Lens Mission: Final Report**. NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) Phase II, 18 mar. 2020.

THOMAS, Peggy. **Artificial intelligence**. Detroit: Thomson Gale, 2005.

THOMASY, Hannah. Low-tech scientists are using their eyes, ears, and intuition to make important discoveries: A fancy new satellite? A particle accelerator? Not required. **Massive Science Inc.**, 27 ago. 2019. Disponível em: <https://massivesci.com/articles/low-tech-science-observation-salamanders-pitcher-plants-crows/>. Acesso em: 07 jan. 2021.

United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation (UN IGME), '**Levels & Trends in Child Mortality: Report 2018, Estimates developed by the United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation**', United Nations Children's Fund, New York, 2018. Disponível em: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/mortality/child-mortality-report-2018.asp/>. Acesso em: 02 nov. 2020.

VAN FRAASSEN, Bas C. **The Scientific Image**. Oxford: Clarendon Press, 1980.

VOLK, Anthony A.; ATKINSON, Jeremy A. Infant and child death in the human environment of evolutionary adaptation. **Evolution and Human Behavior**, vol. 34, n.º 3, mai. 2013, pp. 182-192.

WATSON, James Dewey; CRICK, Francis Harry Compton Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. **Nature**. Vol. 171, 1953, pp. 737–738.

WELLSBY, Michele; PEXMAN, Penny M. Developing embodied cognition: insights from children's concepts and language processing. **Frontiers in Psychology**, vol. 5, art. 506, mai. 2014.

WHITESON, Daniel O. **Let's get philosophical!**. Mensagem recebida por edulustosa@gmail.com em 25 abr. 2020.

WILCZEK, Frank. Beautiful Losers: Kelvin's Vortex Atoms. **PBS** (FQXi-RFP-1822), 2011.

WILSON, David Gordon. **Bicycling Science**. 3ª ed. Cambridge: The MIT Press, 2004.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Tractatus Logico-Philosophicus**. Tradução de D. F. Pears e B. F. McGuinness. Londres e Nova Iorque: Routledge & Kegan Paul, 1974.

WOIT, Peter. **Not even wrong: the failure of string theory and the search for unity in physical law**. Nova Iorque: Basic Books, 2006.

WOLCHOVER, Natalie. Why Gravity Is Not Like the Other Forces. **Quanta Magazine**. Abstractions Blog. 15 jun 2020. Disponível em: <https://www.quantamagazine.org/why-gravity-is-not-like-the-other-forces-20200615/>. Acesso em: 06 dez. 2020.

WOODFORD, Chris. Microscopes. **Explain Stuff**, 2020. Disponível em: <https://www.explainthatstuff.com/microscopes.html/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

YIP, Sidney; DE LA RUBIA, Tomas Diaz (editores). **Scientific Modeling and Simulations (Lecture Notes in Computational Science and Engineering)**. Berlim: Springer-Verlag, 2009.

YIRKA, Bob. What if the black hole at the center of the Milky Way is actually a mass of dark matter? **phys.org (Science X)**. 2 jun. 2021. Disponível em: <https://phys.org/news/2021-06-black-hole-center-milky-mass.html/>. Acesso em: 07 jun. 2021.