ISSN:1984-4247
e-ISSN:1984-4255

ARGUMENTOS Revista de Filosofia

Jaison Shinaider*

Uma lógica para alicerçar o erro experimental da física

A logic to support the experimental error in physics

RESUMO

Neste artigo propomos um embasamento lógico para o erro experimental das medições feitas na física (ou em qualquer outra ciência que utilize medições), a partir de uma lógica destoante da clássica. Iniciamos fazendo uma breve exposição sobre a história do método físico, enfatizando a importância dos experimentos e das medições nesta ciência. Ato contínuo, enfatizamos a presença de erros em quaisquer medições feitas em qualquer experiência (erro que não se pode evitar, já que está 'atrelado' ao próprio aparelho que utilizamos para se fazer a medição, como veremos). Em sequência, mostramos como esse erro pode se tornar problemático quando visto a partir da teoria clássica de modelos, alicerçado na lógica clássica. A partir disso, propomos a utilização de uma lógica destoante da clássica para tratar deste problema: a chamada *lógica paraclássica* (que é um tipo de lógica paraconsistente). Apresentamos a contraparte formal, alguns teoremas e resultados desta lógica, e por fim mostramos como o 'problema lógico' do erro nos experimentos científicos pode ser melhor 'contornado' com o uso deste aparato formal não-clássico.

Palavras-chave: História da ciência. Experimentos científicos. Lógica paraclássica.

ABSTRACT

In this paper propose the use of a non-classical logical to support the experimental error of the measurement made in physical science (or any other science that uses measurements). Begining with a brief historical presentation of the physical method, emphasis on the importance of experiments and measurement in this science. Subsequently, we emphasize the presence of errors in any measurement done in any experiment (error that cannot be avoided, since it is 'linked' to the own device that we use to make the measurement, as we shall see). In sequence, we show how this error can become problematic when viewed from the classical theory of models, based on classical logic. From this, is proposed the use of a non-classic logic to address this problem: the know *paraclassic logic* (which is a kind of paraconsistent logic). Is exhibit the formal counterpart of this alternative logic,

* Doutor e professor de Filosofia.

some theorems and results, and finally is exhibit how the 'logical problem' of the error in scientific experiments can best be handle with this non-classical tool.

Keywords: History of science. Scientific experiments. Paraclassical logic.

Introdução

A gênese do método científico: a observação e a experimentação

> "On fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison"
>
> (H. POINCARÉ, 1917)

Segundo Toraldo Di Francia (1981, p. 7), "o método científico [e sua história] não pode ser adequadamente discutido se for separado da ciência na qual ele se aplica". Desta forma, diz ele, se quisermos realmente entender o que é este método, devemos nos ater aos exemplos concretos, ou seja, às teorias científicas e ao modo como elas foram sendo construídas e confirmadas através dos anos. De qualquer forma, não faremos aqui, é claro, um levantamento histórico completo e exegético de tais teorias (o que é função de um historiador da ciência), mas ficaremos restritos à metodologia utilizada pelos cientistas do início da ciência moderna (cerca de quatro séculos atrás) a partir do seu exemplo mais notável: Galileu Galilei. Pode-se dizer que o método científico basicamente é o mesmo desde o início da ciência moderna, e entendendo suas particularidades em sua gênese, conseguimos também compreendê-lo atualmente.

Desta feita, com Galileu, talvez principalmente, uma nova era do conhecimento científico toma forma sendo por isso considerado como o 'fundador' da ciência moderna por muitos filósofos e historiadores da ciência. Quando por volta de 1609 Galileu inicia seus estudos sobre os corpos celestes e aponta seu telescópio para o céu, a visão de mundo e de homem se transforma radicalmente. Só para citar algumas descobertas de Galileu com seu telescópio, estão os anéis de Saturno, as luas de Júpiter, as fases de Vênus, as crateras na Lua; ou seja, a estrutura dos planetas em geral lembrava muito as características da Terra, e o próprio movimento dos planetas em geral também apresentava um comportamento semelhante ao que vemos no nosso sistema "Sol-Terra-Lua".[1] Isso possibilitou um forta-

[1] Isso é importante, haja vista que segundo a teoria aristotélica do universo que vigorava até então, os planetas e as estrelas estavam como que estáticos e "incrustados" (como ameixas em uma cobertura de bolo) em esferas transparentes, e o que se movimentava eram tais esferas, levando consigo os planetas e as estrelas, e não os planetas e estrelas propriamente. Inclusive a diferença, visível da Terra, do tamanho das estrelas no universo, era interpretada como proporcionada pelo próprio tamanho de tais estrelas em si; ou seja, se vemos uma certa estrela como um pequeno ponto e uma outra estrela como um ponto maior, isto se deve ao fato de que a primeira é realmente menor que segunda, e não porque uma está mais longe que a outra em relação à Terra (até porque, como estão incrustadas na mesma esfera – conhecida como "esfera das estrelas" -, esta esfera se situava a uma distância fixa da Terra). Sobre isso, ver Peduzzi, 1998.

lecimento das críticas à visão Aristotélica e medieval de que nosso planeta seria um lugar inferior, lançando com o tempo uma pá de cal sobre esta posição.[2]

Principalmente após as pesquisas e descobertas de Galileu, a visão de que o discurso, a retórica e a argumentação sobre o mundo (um traço forte do racionalismo científico/filosófico e/ou da metafísica especulativa) pudessem dar conta de explicar os eventos naturais perde, pouco a pouco, espaço para a visão de que o que confirma e valida uma teoria científica é a *observação* do fenômeno pelo cientista, seja este cientista de qualquer crença, cor, credo ou nacionalidade (o que, afinal de contas, é uma parte do objetivismo científico), e que - pelo menos para a época - a teoria é que tem que se adequar à tal observação, e não o contrário como acontecia até então. Quando Galileu observou as manchas solares derrubou, ainda que não de forma declarada, mas já minando dois mil anos de uma visão filosófica (iniciada ainda com Aristóteles na Grécia antiga, ao afirmar que os corpos celestes eram perfeitos e incorruptíveis) e cristã, já que esta tese foi depois tomada como argumento pelos religiosos (principalmente os chamados "Escolásticos", onde a figura mais proeminente é Santo Tomás de Aquino (1227 – 1274)) da Idade Média para 'garantir' - também agora 'racionalmente' e não só por uma questão de fé - a perfeição divina e dos céus, onde, de certa forma, somente o mundo sublunar seria pensado como sendo imperfeito e corruptível. A mudança de uma visão científica leva, é claro, mesmo que sutilmente, a uma incipiente mudança da visão filosófica, teológica e interna do próprio homem frente às coisas e a si próprio frente ao universo, como de fato ocorreu neste caso. Contra fatos, argumentos se enfraquecem. E contra as descobertas de Galileu, tanto no céu como na Terra, não há retórica escolástica que as invalide.[3]

Uma outra característica científica muito importante que Galileu inaugurou em sua ciência passou até mesmo a designar o próprio método científico em si: o *método experimental*. Este consiste basicamente em ter a experiência como um guia, confirmando e refutando hipóteses, e não como um procedimento com teorias abstratas *a priori* (ou *ad hoc*) que não são confirmadas por um experimento. Antes de Galileu o investigador ou o cientista natural praticamente só induzia teorias (muitas vezes sem mesmo observar o fenômeno), já que de certo modo acreditava que somente a razão conduziria realmente à verdade, sem necessitar apoiar (ou validar) tais teorias em algo empírico. Após Galileu, o 'cientista' "não somente escuta o que a natureza espontaneamente diz, mas a *interroga* também." (TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. 8): o próprio cientista constrói a experiência e retorna a ela repetidas vezes, tirando-a e restituindo-lhe algo, testando inúmeras hipóteses, mudando as magnitudes dos termos e dos objetos envolvidos etc., (como atestam, por exemplo, as experiências de Galileu com o plano inclinado) (*ibid*.). Assim, a

[2] Sobre isso, ver Koyré, 2011.

[3] É interessante notar que somente no século XX a igreja católica, na 'direção' do Papa João Paulo II, perdoou Galileu pela sua defesa da mobilidade terrestre. Além disso, o que torna a história mais irônica ainda, Galileu foi obrigado, como parte de sua condenação, a tentar convencer toda e qualquer pessoa que ele travasse contato e que acreditasse, por sua vez, que a Terra girava em torno do Sol, do contrário: que a Terra está parada, e que é Sol que se move ao seu redor. Um trabalho muito interessante (e que foge aos textos usuais de filosofia) sobre os problemas que Galileu enfrentou em sua época por causa de suas descobertas astronômicas pode ser encontrado em BRECHT (1938-1939), 1991; e para mais informações sobre a "situação" da teoria aristotélica do universo no momento em que Galileu anunciou suas descobertas, bem como o modo como estas foram recebidas pela comunidade científica, filosófica e teológica da época, consulte KOYRÉ, 2011.

observação, mas também agora e mais importante, a experimentação, tornam-se o ponto de partida e ao mesmo tempo o teste crucial na formulação de leis naturais. A ciência natural parte de dados experimentais, os quais são hoje o juiz supremo da validade de qualquer teoria científica. O próprio Kant discorreu sobre a revolução ocasionada na ciência com a inauguração do método experimental. Na sequência reproduzimos a famosa passagem em que ele comenta essa sublevação, constante no prefácio da segunda edição da *Crítica da razão pura*:

> Quando Galileu fez rolar no plano inclinado as esferas com uma aceleração que ele próprio escolhera, quando Toricelli fez o ar suportar um peso, que antecipadamente sabia idêntico ao peso conhecido de uma coluna de água, ou quando, mais recentemente, Stahl transformou metais em cal e esta, por sua vez, em metal tirando-lhes e restituindo-lhes algo, foi uma iluminação para todos os físicos. Compreenderam que a razão só entende aquilo que produz segundo os seus próprios planos; que ela tem que tomar a dianteira com princípios, que determinam os seus juízos segundo leis constantes e *deve forçar a natureza a responder às suas interrogações* em vez de se deixar guiar por esta; de outro modo, as observações feitas ao acaso, realizadas sem plano prévio, não se ordenam segundo a lei necessária, que a razão procura e de que necessita. A razão, tendo por um lado os seus princípios, únicos a poderem dar aos fenômenos concordantes a autoridade de leis e, por outro, *a experimentação, que imaginou segundo esses princípios*, deve ir ao encontro da natureza, para ser por esta ensinada, é certo, mas não na qualidade de aluno que aceita tudo o que o mestre afirma, antes na de juiz investido nas suas funções, que obriga as testemunhas a *responder aos quesitos que lhes apresenta.* Assim, a própria física tem de agradecer a revolução, tão proveitosa, do seu modo de pensar, unicamente à ideia de procurar na natureza (e não imaginar), de acordo com o que a razão nela pôs, o que nela deverá aprender e que por si só não alcançaria saber; só assim a física enveredou pelo trilho certo da ciência após tantos séculos em que foi apenas simples tateio. (KANT [1781], 1997, p. 18 (B XIII), grifo meu.).

Em seguida Kant enuncia a interessante diferença da ciência experimental sobre a metafísica, esta última sendo um

> conhecimento especulativo da razão completamente à parte e que se eleva inteiramente acima das lições da experiência, mediante simples conceitos (não como a matemática, aplicando os conceitos à intuição), devendo, portanto, ser discípula de si própria [...]". (*ibid.*, p.19 (BXIV)).

Uma definição que parece se encaixar muito bem com a ciência aristotélica, e logo também com a ciência escolástica.

Não obstante, hoje em dia, segundo as abordagens tanto de realistas como de empiristas ou racionalistas, é naturalmente aceito que "um experimento representa uma questão que não é independente da natureza do questionador. Esta é formulada pelo observador e leva a uma resposta de acordo com o observador" (TORALDO DI FRANCIA, 1981, p.10), tal como de certo modo Kant já tinha observado na citação acima.[4] Porém não devemos ter um mente que o observador insere,

[4] O que queremos enfatizar é que tal posição hoje é comumente aceita, mas que nem sempre foi assim no passado.

neste momento, alguma subjetividade no experimento ou coisa do gênero. O que acontece, na verdade, é que o observador simplesmente seleciona alguns elementos da sua própria linguagem para que se possa entender a natureza, haja visto que "*a razão só entende aquilo que produz segundo seus próprios planos".* De maneira um tanto análoga, W. Heisenberg fala, já no século XX, ter aprendido com Einstein que "é a teoria que diz o que pode ser observado." (HEISENBERG, 1989, p.10).[5]

A gênese do método científico: a quantificação e a linguagem matemática

A linguagem da ciência, por sua vez, aquela que o observador deve usar em suas teorias, também foi expressa pelo próprio Galileu em sua famosa passagem de *O ensaiador*[6] no qual ele diz:

> [A] Filosofia [Natural] do universo é escrita em um grande livro, o qual até mesmo mente perante nossos olhos. Mas não podemos entendê-lo se nós não aprendermos a linguagem e soubermos manipular os símbolos nos quais ele está escrito. Este livro é escrito numa linguagem matemática, e os símbolos são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, tal que, sem a ajuda deles, é humanamente impossível compreender uma pequena palavra deste livro, e sem os quais nós vagaremos em vão através de um negro labirinto. (GALILEU, 1936).

Desta forma, de todas as características e feições que a natureza apresenta a nós das mais diversas formas, o cientista quando trabalha seleciona aquelas que possam ser entendidas matematicamente. Embora agora isso também pareça usual, a caracterização matemática da realidade foi por si só uma verdadeira revolução, haja vista que segundo a concepção de Aristóteles que vigorava até ali, a matemática não serviria para explicar o mundo real, mas sim um mundo aparte, abstrato e perfeito, algo como o mundo das ideias. Para o filósofo grego, na explicação da realidade deveríamos empregar as palavras, ou seja, o discurso, a narrativa, a filosofia.[7] Galileu foi quem primeiro 'matematizou' a realidade e 'transformou' o mundo em uma forma geométrica, quantificando-o. Como diz Stillman Drake (*apud* CHALMERS, 1999, p. 166):

> Foi Galileu que, aplicando consistentemente a matemática à física e a física à astronomia, primeiro uniu a matemática, a física e a astronomia de uma forma verdadeiramente significativa e fecunda. As três disciplinas tinham sempre sido consideradas como essencialmente separadas; Galileu revelou suas relações pares e triplas, abrindo, assim, novos campos de investigação para homens de interesse e habilidades amplamente divergentes.

E segundo Peduzzi (1998, p. 120),

[5] Para mais detalhes sobre a dependência que a observação tem da teoria, ver (CHALMERS, 1999, cap. 3).

[6] "*O ensaiador*" foi publicado por Galileu em 1623 em resposta a uma obra provocativa do padre Jesuíta Orazio Grasse, a saber, "*Balança astronômica e filosófica*". No "*Ensaiador*", Galileu não apenas rebate uma a uma as críticas e os argumentos apresentados por Grassi, como também o expõe ao ridículo, zombando com uma mordaz ironia dos conceitos defendidos por este homem, que depois se tornaria o principal adversário científico e institucional de Galileu.

[7] Novamente, veja (KOYRÉ, 2011).

> Muito mais do que uma síntese de resultados já obtidos no primeiro período de sua vida científica, os "Discursos"[8] apresentam as conclusões de Galileu sobre a sua ciência do movimento. Uma ciência que rompe com a tradição e estabelece as bases da moderna cinemática ao proceder a investigação da queda livre abstendo-se de considerar o mecanismo causal deste movimento [algo presente na explicação aristotélica]. [...] Com a investigação deste tema, Galileu, definitivamente, introduz na ciência uma física quantitativa, inteiramente diferente da física das qualidades, de Aristóteles e seus seguidores, e da física do *impetus*[9], bastante confusa e vaga.

Durante os séculos a precisão da linguagem utilizada em matemática foi 'emprestada' à física que, durante seu desenvolvimento histórico, se tornou cada vez mais apurada, precisa, coerente, econômica e universal. Como diz Toraldo di Francia

> a matemática nunca cessou de ser a *indispensável* base da física [...]. O ponto central deste método é que cada fenômeno natural e suas quantidades físicas corresponde a um conjunto de números. Esta correspondência é posta em prática pelo método de *mensuração* [measurement]. (TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. 12, *grifo meu*).[10]

O método de mensuração, utilizado em qualquer disciplina que possua um caráter experimental, é bastante intuitivo: dado um objeto qualquer do qual se queira medir deste alguma quantidade, se escolhe primeiro a unidade, e depois se faz a medição. Por exemplo, para medirmos a velocidade de um corpo que percorre uma certa distância, medimos a distância (em metros) do ponto de origem até o ponto final, e o tempo transcorrido para se alcançar tal distância (em segundos). Depois aplica-se a fórmula (dada por definição) $v = d/t$ (velocidade igual à distância dividida pelo tempo), e como resultado temos uma medida em m/s. O resultado final representa a medida (ou o valor médio) da velocidade do corpo. Por sua vez, a idéia básica desta representação numérica para as medições também é bastante simples. Para mostrar como isto se dá, vamos fazer novamente uso de um exemplo. A medição de um objeto a (uma mesa, ou qualquer outra coisa mensurável), com uma precisão correspondente a algum (pequeno) objeto u (por

[8] *"Discursos e demonstrações sobre os dois principais sistemas de mundo"*. Publicado em 1638, é a última grande obra de Galileu antes da sua morte, em 1642, aos 78 anos de idade. Nesta obra, entre outras coisas, Galileu critica os princípios fundamentais da física aristotélica e o sistema ptolomaico, contesta as objeções físicas ao movimento da Terra, apresenta a teoria das marés que ele julgava, erradamente, ser uma prova conclusiva da mobilidade terrestre e enfatiza o resultado de suas descobertas astronômicas e suas consequências.

[9] O impetus (termo criado pelos escolásticos da Idade Média), é uma "qualidade", "força", "impressão", "potência", "virtude motriz", que passa do movente ao móvel nos movimentos violentos e de que um corpo em movimento natural também fica impregnado (PEDUZZI, 1998).

[10] A 'descoberta' do método da mensuração, o qual se tornou a ferramenta para matematizarmos a realidade, quantificando-a, também não foi, como se pensa, algo natural ou usual. Representou na verdade um grande salto da concepção humana frente a natureza, dado que até este momento – como já dito - a matemática não servia como uma ferramenta para se obter conhecimento sobre o mundo, mas apenas para de certo modo facilitar nosso contato com ele. Como A. Koyré muito bem observou, "isto é muito estranho: dois mil anos atrás, Pitágoras proclamou que os números são a essência das coisas, e a Bíblia tem ensinado que Deus tem baseado o mundo sobre números, pesos e medidas. Todo mundo repete isto, ninguém acreditava nisto. No mínimo, além de Galileu, ninguém tomou isso seriamente. Ninguém até mesmo tentou determinar estes números, estes pesos e medidas. Ninguém tentou aplicar o prático uso de números, pesos e medidas na imprecisão do dia a dia – contando os meses e animais, medindo distâncias e campos, pesando ouro e cereais – em ordem de transformar isto em um elemento de conhecimento preciso" (KOYRE, 1961, *apud* TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. 11).

exemplo, a décima parte de um centímetro marcado em uma trena[11]), dá-se da seguinte forma. Conta-se o número, m, de cópias de u que estão enfileiradas e em correspondência com a de modo que $(m+1)\,u \geq a \geq mu$. Isto equivale à encontrar o número $m(n)$ de cópias de u que é aproximadamente igual à medição de a. O limite no qual $m(n)/n$ tende, com n aproximando-se de a, é definido como sendo $\varphi(a)$, e é a medição procurada, que é aditiva e preserva a ordem. Sequências da forma $n = 1, 2, \ldots,$ às quais se tornam usuais nas medições, são chamadas sequências padrão. Como exemplos, temos o peso em múltiplos de grama e o metro, em múltiplos de milímetros.[12]

O importante a ser observado é que na ciência, as relações entre os objetos, seus pesos, suas medidas e suas propriedades naturais, como dito acima, podem ser representados em termos de relações entre números que representam estas medidas. Neste caso, a grande descoberta de Galileu, na verdade, consistiu em ter percebido que as relações entre esses números/medidas são possíveis de serem representadas por meio de relações (ou seja, equações) matemáticas que podem relacionar "coisas" díspares. Por exemplo, no caso de um corpo em queda livre, uma vez já medido anteriormente sua distância e o tempo, podemos notar que os números expressando valores de distância são proporcionais ao quadrado dos números representando os valores correspondentes de tempo[13], relacionando assim duas dimensões: a temporal e a espacial.

Durante os séculos que se seguiram a Galileu, o caráter quantitativo da ciência em geral se tornou mais e mais abrangente. A precisão da linguagem utilizada em matemática foi 'emprestada' à ciência que, durante seu desenvolvimento histórico, se tornou cada vez mais apurada, precisa, coerente, econômica e universal. Hoje em dia é aceito que quanto mais conceitos de uma teoria forem expressos de um modo quantitativo, melhor é esta teoria. Com efeito, caso peguemos um livro de física moderna, veremos neste suas muitas equações, diferenciais, integrais que ajudam a'representar' a natureza: os "caracteres matemáticos", uma clara herança Galileana.

O problema do erro

Não obstante a todas as características históricas e epistemológicas da física apontadas anteriormente, o método experimental propriamente dito nesta ciência tem algumas peculiaridades bastante interessantes. Uma delas, que encerra um grande problema, se refere à precisão da medição (ou das medições) feitas em laboratório em qualquer experiência. Como dito anteriormente, um dos principais objetivos de qualquer ciência experimental é determinar o valor quantitativo de

[11] É necessário, é claro, que esta trena seja rígida, indeformável e livre de perturbações enquanto se faz a medida do objeto.

[12] Sobre a álgebra associada à medição de um objeto, bem como uma representação axiomática para uma teoria de medição, veja (LUCE e SUPPES, 1987).

[13] Esta descoberta se deve ainda a Galileu a partir de suas experiências com o plano inclinado. Num tempo sem acesso facilitado a relógios, para a medição do tempo era empregado, segundo as próprias palavras de Galileu, "um grande recipiente com água, colocado numa posição elevada; um cano de pequeno diâmetro foi soldado ao fundo do recipiente, deixando escoar um filete de água, que era coletado num copinho no decurso de cada descida, fosse ela ao longo de todo o canal ou apenas de uma parte dele; a água assim coletada era pesada, após cada descida numa balança de muita precisão; as diferenças e razões desses pesos nos davam as diferenças e razões dos tempos, e isto com tanta precisão que, embora a operação fosse repetida muitas e muitas vezes, não havia discrepância apreciável entre os resultados." (GALILEU, 1935).

uma grandeza. Esta análise quantitativa é realizada a partir da medição dos valores das grandezas relacionadas à propriedade alvo da pesquisa. Para isto o experimentador faz uso de instrumentos de medida cuja complexidade varia de acordo com a natureza da grandeza a ser mensurada. Porém não basta simplesmente registrar o resultado das medições feitas durante uma experiência: é necessário também dar uma ideia da confiabilidade da medição, ou seja, os dados experimentais devem ser acompanhados de um posterior tratamento matemático que permita uma avaliação da confiabilidade dos resultados obtidos; quanto eles estão corretos, são aceitáveis ou mesmo infundados. Além disso, diferente do que se poderia pensar, o grau de sofisticação e/ou de precisão do aparelho utilizado não livra o operador da existência de erros ao realizar uma medição. Em suma, deve-se sempre expressar, anexo ao valor da medição, o *valor do erro encontrado na medição.*[14]

A tarefa para determinar a confiabilidade de uma medição (ou seja, seu erro), na prática, não é muito simples, e na verdade necessitamos fazer uso de diversos procedimentos para poder estimá-la. A maior dificuldade desses procedimentos reside no fato de que as medições sofrem a influência de um grande número de fatores que interferem de forma decisiva no seu resultado. Como exemplo desses fatores, podemos citar a atuação do próprio aparelho utilizado para realizar as medições, o tipo e o número de medições feitas, assim como o método de medição empregado pelo experimentador. Portanto, em qualquer procedimento experimental, se faz necessário sempre analisar tais interações para poder dar uma indicação da confiabilidade da medição. Não obstante é bom salientar que devido à natureza de qualquer fenômeno em estudo, assim como aos próprios processos que acompanham a medição na prática usual do cientista, também o erro 'verdadeiro' (por assim dizer) da medição permanece desconhecido, sendo possível somente uma estimativa do erro máximo aceitável para o processo em questão.

Quando se realiza uma medição, faz-se a 'mesma' várias vezes e cometem-se os mais variados tipos de erro, como salientado. A partir disso, o erro associado a uma medição é definido como a soma de todos eles.[15] No livro *Introdução ao laboratório de física* (PIACENTINI *et. al.*, 1998, p. 23), existem algumas classificações de erros encontradas na literatura. A nomenclatura também é variada, sendo que o mesmo tipo de erro é denominado de forma diferente dependendo do autor. Neste livro citado, os autores optam por classificar os diversos tipos de erro em três categorias principais:

a) *Erro de Escala:* é o máximo erro aceitável cometido pelo operador, devido ao limite de resolução da escala do instrumento de medição.

b) *Erro Sistemático:* é aquele que, sem praticamente variar durante a medição, entra de igual modo em cada resultado desta,

[14] Este artigo acompanha, por assim dizer, os termos que a física – ou o que os físicos - aparentemente utilizam em seu dia a dia. Desta forma preferimos manter o termo "erro da medição" para a característica, descrita no texto, do método experimental nesta ciência. Na realidade, filosoficamente, este termo "erro" precisaria ser qualificado já que neste caso pressupõe que exista o valor de uma medição correta, coisa que não é alcançável (como veremos no decorrer do texto, o que existe como medição 'certa' ou 'correta' é a média do somatório de todas as medições feitas sobre o objeto em questão). Ao invés de usar a palavra "erro", poderíamos usar um termo como 'desvio padrão da medição', ou 'desvio da medição' (ou coisa do gênero). De qualquer forma, pelo motivo exposto, manteremos e utilizaremos aqui o termo "erro da medição".

[15] Piacentini *et. al.*, 1998. Entretanto, não se deve confundir este tipo de erro aqui enunciado com "engano", também chamado de "erro grosseiro", pois este é devido a fatores como inabilidade, inexperiência ou distração por parte do experimentador. Estes erros são facilmente eliminados, ou pelo menos, identificados e compensados.

fazendo com que seu valor se afaste do valor real em um sentido definido. O erro sistemático é o que aparece seguindo alguma regra definida; descoberta sua origem, é possível eliminá-lo.

c) *Erro Aleatório:* é aquele que decorre de perturbações estatísticas imprevisíveis, ocorrendo, portanto, em qualquer sentido. Os erros aleatórios não seguem qualquer regra definida. Assim sendo, não se pode evitá-los.

Neste artigo optamos por trabalhar somente com o *erro de escala*, já que este tipo de erro, como visto, encontra-se em qualquer medição, *pois é inerente à escala do instrumento utilizado para efetuá-la*. Além disso, segundo o mesmo livro acima indicado (p. 28), *para uma única medição não há sentido em se falar na existência do erro aleatório, e o erro sistemático, caso exista, pode ser eliminado quando sua origem for conhecida (grifo meu).* Em poucas palavras, estes erros que são 'elimináveis' representam meramente erros na aplicação das regras operacionais estabelecidas e geralmente se devem a um engano na 'construção' do aparato experimental, imprecisão de ajuste da trena ao objeto, por exemplo, ou o uso impróprio dos instrumentos.

O erro de escala, que do modo acima descrito é inerente a todas as medições, é determinado através da seguinte expressão (dada por definição):

$$E_{esc} = \pm \frac{\text{menor divisão da escala}}{2} = \pm \frac{MDE}{2}$$

Assim, por exemplo, se estivéssemos empregando uma trena graduada em milímetros para medir um certo objeto, e encontrássemos numa certa medição o valor de 10mm, o erro seria de 0,5mm. Quando uma medição é repetida com o objetivo de aumentar o refinamento são feitos cálculos de distribuição de erro via uma teoria estatística de tratamento de dados experimentais.[16] Atualmente nenhum campo das ciências exatas que utiliza os dados de uma experiência pode deixar de aplicar tais métodos estatísticos de tratamento de dados experimentais, apesar de se aceitar que a estatística matemática, particularmente no campo de sua aplicação ao tratamento do resultado das medições, não pode ser considerada perfeita (LUCE E SUPPES, 1987, p. 797). Em casos concretos, surgem diferentes dificuldades que nem sempre são possíveis de serem superadas.

O modo formal de expressarmos o erro acima em qualquer relatório laboratorial (erro esse que, repetimos, sempre é encontrado devido ao próprio aparelho utilizado na medição), segue esta forma: existe um número real a (com uma infinidade de partes decimais) que representa a 'verdade' ou a medição exata. Porém, a toda expressão da medição devemos acrescentar um erro advindo dos motivos acima apresentados. Desta forma, toda a medição feita em física é (ou deveria ser) expressa do seguinte modo:

$$M = (m \pm \Delta \mathrm{m})\, u \quad \text{ou}$$
$$Medição = a \pm \varepsilon\, (u)$$

onde ε representa um pequeno número positivo e u a unidade da medição. Na verdade, o que dizemos é que o valor da medição é a*,* com um erro ε (ou 2 ε).

[16] Novamente, veja a obra sobre *Introdução ao laboratório de física* antes citada.

Assim, encontramos um certo número b, o qual chamamos de valor da quantidade da medição, e dizemos que a medição real a está entre b – ε e b + ε do seguinte modo, onde ε representa um 'pequeno' número positivo:

$$b - \varepsilon \leq a \leq b + \varepsilon$$

Por exemplo, tomemos a segunda lei da dinâmica (ou segunda lei de Newton), f = ma. Em cada situação experimental concreta, medir as três magnitudes força, massa e aceleração produz três intervalos reais cuja amplitude depende da precisão dos procedimentos de medição utilizados. Temos, desta forma, uma medição do seguinte tipo:

$$f \pm \varepsilon = (m \pm \delta) \, . \, (a \pm \zeta)$$

onde $\boldsymbol{\varepsilon}$, $\boldsymbol{\delta}$, e $\boldsymbol{\zeta}$ representam os erros de cada medição.[17] Assim, a expressão o *"valor verdadeiro (ou exato) de* a*"*, onde a representa um número real de uma medição sem erro, *não tem qualquer significado em física*, já que todo valor de a 'carrega' consigo um erro. O correto é dizer que a quantidade da medição é a, com a precisão ε *ou* 2ε, e é preferível, ao invés de declarar a medida como o *"valor verdadeiro de* a*",* expressá-la como o *"valor provável de* a*"*.

Uma medição qualquer, desta forma, produz não só um número real a, mas um intervalo contínuo de números, dos quais b – ε e b + ε são o "lower and upper bounds" (TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. 27) ou, de outra forma, os limites inferior e superior da medição. Ainda segundo este autor, "*somente convencionalmente* podemos dizer que a medição verdadeira a pode ser qualquer valor deste intervalo e que ε declara o erro da medição" (*ibid.*, *grifo meu*). Quando repetimos a medição com algum instrumento que tenha uma precisão maior, ou seja, que tem um erro ε menor, o novo intervalo fica dentro do intervalo antigo.

De um modo mais formal, podemos descrever um resultado em física com seu erro da seguinte forma (TORALDO DI FRANCIA e DALLA CHIARA, 1979, p. 151-159).

A aplicação de um procedimento π de medição, a um sistema físico $\boldsymbol{\sigma}$, resulta em um número real, juntamente com o erro $\boldsymbol{\varepsilon}$ (que depende tanto de $\boldsymbol{\sigma}$ como de π) e é expresso como

$$(1) \qquad \pi(\boldsymbol{\sigma}) = a \pm \boldsymbol{\varepsilon}$$

onde, como dito acima, $\boldsymbol{\varepsilon}$ é um número real positivo. Assim, $\pi(\boldsymbol{\sigma})$ produz um intervalo de números reais de 'distância' ε, com 'centro' em a. O resultado da medição é consistente com a equação

$$(2) \qquad a = b \pm \varepsilon$$

[17] É necessário observar que existem regras para a propagação dos erros em qualquer operação matemática que se faça, já que, às vezes, é necessário medir varias grandezas físicas iguais ou diferentes, com aparelhos de classes de precisão diferentes, e reuní-las através de uma única equação matemática de forma a obter o valor da grandeza procurada. De qualquer forma, não adentramos a este ponto aqui, por não interessar aos nossos objetivos específicos. Mais detalhes podem ser vistos no livro "Introdução ao laboratório de física" novamente citado.

Sendo a e b duas medidas de certo fenômeno físico. *Assim, podemos dizer* a = b*, com a precisão* ε*.* Por exemplo, suponha que b = 2 e ε = 0,02. Isso significa, intuitivamente, que a = 1,998, ou a = 2,002, ou a = 2,0001, ou qualquer valor entre esses. Grosso modo, e isto é importante, experimentalmente podemos dizer que '1,998 = 2 com precisão ± 0,002'.

Enfatizamos que a especificação do erro ε deve ser implícita ou explicitamente sempre acompanhada do resultado da medição. Como visto acima, quaisquer que sejam as medições de a e b, elas sempre trazem consigo dois intervalos a' ± $\varepsilon_{a'}$, b' ± $\varepsilon_{b'}$ onde ε_a e ε_b representam a precisão dos instrumentos utilizados. É claro que quando o erro encontrado em uma medição já é usual para o físico, podemos dispensar a explícita especificação deste, ou seja, o erro implícito já está bastante claro. Por exemplo, se medimos a distância entre dois lugares com uma trena em que a menor divisão da escala desta trena é feita em metros, o valor encontrado pode ser expresso como sendo 285Km, quando o correto é 285,00000 ± 0,00005Km. Neste caso, o erro de 0,5m influencia muito pouco no resultado final da expressão/medição. De qualquer forma, esta é uma atitude 'incorreta' do físico: a rigor, todas as medições devem ser expressas com seus respectivos erros.[18]

Segundo Toraldo Di Francia (1981, p. 30), a relação expressa na equação do tipo (1) acima é a forma legítima de expor qualquer lei física, enquanto que a equação a = b, que pura e simplesmente expressa a igualdade entre dois números reais; o resultado exato de duas medições, *não pode ter qualquer significado real nesta ciência*: "em nenhum artigo sério de física devemos declarar uma lei [física] sem indicar os limites de sua validade [ou seja, seu erro]".

Como resultado de tais abordagens, podemos dizer que *as leis da física, quando aplicadas em laboratório, nunca resultam exatas ou nunca obtêm certeza absoluta*. Leis do tipo f=ma, pura e simplesmente (sem erro), na verdade nunca podem ser exatamente verificadas em laboratório por causa do erro que nelas não está expresso. Quando expressas deste tipo, tais leis na verdade *mentem.*[19] Equações do tipo (2), acima, por sua vez estabelecem relações exatamente verificáveis. Esta equação se deduz de um procedimento correto em física e expressa, desta forma, uma verdade: "The proposition synthesized by equation (2) states precisely that *every time measurements are carried out with a given apparatus, two numbers* a*,* b*, are found which differ by less than* ε*.* It is a *true* sentence [...]." (TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. 31), *grifo do autor*). É interessante notar que mesmo com um aparato experimental mais refinado, a lei (2) acima continua a ser verdadeira, exatamente porque o erro encontrado é inerente ao próprio aparelho de medição utilizado e, assim, não conseguimos de forma alguma evitar. As leis que escrevemos em física teórica, na forma a = b, espelham uma clara incongruência com o que encontramos na vida real, ou seja, no laboratório e/ou na física experimental.

Na próxima seção tentaremos mostrar como esta característica da física experimental, ou seja, esse 'erro' que parece ser inevitável já que está atrelado ao

[18] É interessante notar que existe uma exceção para o caso do erro quando alguma medição consiste na atitude de contar. Suponha por exemplo que desejamos saber quantos botões cabem em uma dada caixa. O resultado será um número inteiro, exato. Desta forma, na física clássica, podemos assumir que o resultado da contagem é um número inteiro com erro zero, ou seja, **ε = 0.**

[19] Utilizamos aqui uma paráfrase ao texto de Nancy Cartwright (1983): *"How the laws of physics lie"*.

próprio aparelho de medição, pode se tornar problemático quando considerado à luz da teoria dos modelos baseada em uma lógica clássica.

Modelos lógicos e modelos físicos

A 'incongruência' apresentada na seção anterior, a saber, a problemática relação existente entre as asserções (leis) puramente teóricas da física, e o erro inevitável que surge quanto 'testamos' tais leis (advindo das típicas experiências em nesta ciência), leva-nos a colocar em xeque a validade das asserções simplesmente matemáticas, por assim dizer, deduzidas nesta ciência. Com efeito, como dizem Toraldo Di Francia e Dalla Chiara (1979, p. 163),

> Ironically, they may be ready to wage their life on a number of facts predicted by physics, while affirming that physics is able to reach at best *approximate truth.* Alternatively, they are likely to say that the laws of physics could be exact, were it not for the act that they can only be approximately verified. This paradoxical situation arises largely because the precisions ε are ordinarily *kept out of the theory*. The theories of physics are then thought to be perfect forms of a Platonic world of ideas, which are inevitably marred in the passage to this mortal world of ours. In other words, the theory is never expected to perfectly agree with the facts! (grifo dos autores).

Por esse motivo, precisa-se 'incorporar' a imprecisão ε, *o erro*, como algo que de certo modo faça parte da teoria, ou seja, devemos conseguir 'interpretar' todos os valores que estão no intervalo de erro de uma medição feita em um mesmo sistema físico (e não só os valores ideais, como será visto abaixo), sem que isso se torne problemático do ponto de vista da lógica em que fundamentamos tal teoria (sem que isso nos leve a uma contradição, por exemplo). É o que tentaremos fazer a partir de agora.

Primeiramente, porém, é necessário que façamos uma breve descrição do que é um modelo físico.[20] A partir dos anos 1950, principalmente com os trabalhos pioneiros do lógico polonês Alfred Tarski sobre teoria dos modelos, tem sido elaborada uma sofisticada teoria de modelos que funciona muito bem para o caso das teorias matemáticas usuais de 1ª ordem. Normalmente, a lógica que alicerça tal teoria é a lógica clássica (de onde se deriva a teoria 'clássica' dos modelos). Existem algumas expansões interessantes também para lógicas não clássicas, mas não iremos tratar deste ponto aqui. Quando aplicamos a teoria dos modelos, que funciona muito bem para os objetos abstratos da matemática, às ciências empíricas, os objetos destes modelos devem ser interpretados em situações experimentais concretas, e obtemos então os chamados *modelos físicos.*

Em um contexto semântico do tipo usual, é possível então introduzir a seguinte noção de "modelo físico" em respeito ao qual uma proposição pode ser verdadeira ou falsa (DALLA CHIARA E TORALDO DI FRANCIA, 2001, p. 89). Um modelo físico pode ser caracterizado como sendo uma estrutura

[20] Os conceitos desta seção foram adaptados do trabalho de TORALDO DI FRANCIA E DALLA CHIARA,1979, p. 163ss; DALLA CHIARA E TORALDO DI FRANCIA, 2001, p. 88ss; e da COSTA E KRAUSE, 2006.

M = <MAT, EXP, TRA>,

constituída de uma parte matemática MAT, uma parte experimental EXP, e uma função de tradução TRA que associa uma interpretação matemática aos elementos da parte experimental, de modo análogo que interpretamos as constantes, as variáveis individuais e os símbolos de predicado em uma linguagem de 1ª. ordem, por exemplo.

A parte matemática do modelo pode identificar-se com um modelo de uma teoria matemática (no sentido habitual da teoria abstrata dos modelos), ou uma "espécie de estruturas" (no sentido de SUPPES, 1957). Por exemplo, MAT, poderia representar um modelo da teoria dos números inteiros, ou dos números complexos etc. A parte experimental EXP, por sua vez, é constituída por uma classe **σ** de sistemas físicos em estados determinados, e por uma sucessão finita de magnitudes físicas definidas operativamente. Isto significa que cada magnitude está associada a uma classe de procedimentos adequados para calcular os valores da magnitude em questão com uma certa precisão característica. Podemos definir o conceito de "verdade física" da seguinte forma, seguindo um estilo Tarskiano (*ibid.*, p. 89):[21]

> Uma proposição $A(g_1, ..., g_n)$[22] é verdadeira com respeito a um sistema físico **σ**, pertencente ao domínio experimental EXP do modelo M, se, e somente se, os resultados de uma medição π em **σ**, $\pi(\boldsymbol{\sigma})$, das magnitudes representadas por $g_1, ..., g_n$, admitem n valores ideais que satisfaçam, no modelo matemático MAT, a relação matemática de A.

Por exemplo, a lei $f = ma$ é verdadeira (em sentido intuitivo) em um sistema físico **σ**, quando os três intervalos reais que representam os três resultados de uma medida (com erro) π em **σ** das magnitudes força, massa e aceleração contêm, respectivamente, três números reais *a, b, c* tais que a igualdade $a = bc$ resulte matematicamente verdadeira.

Agora podemos definir o conceito de verdade com respeito a um modelo. Ocupamo-nos, por simplicidade, exclusivamente de proposições do tipo $A(g_1, ..., g_n)$ e de modelos M nos quais magnitudes a que se referem $g_1, ..., g_n$ estão definidas operativamente para ao menos um sistema físico pertencente a M.

Assim, *uma proposição $A(g_1, ..., g_n)$ é verdadeira com respeito a um modelo M quando é verdadeira com respeito a todos os sistemas físicos σ de M para os quais as magnitudes representadas por $g_1, ..., g_n$ estão definidas.*

Em seguida é necessário que seja caracterizado o conceito de uma sentença **α** ser verdadeira com respeito a uma situação física **σ** ϵ EXP. Primeiramente **α** deve ser definida com respeito a **σ**, que intuitivamente significa que **α** "tem um significado com respeito a **σ**" (DALLA CHIARA E TORALDO DI FRANCIA, 2001, p. 165). Isto quer dizer que supondo que **α** é a proposição $A(g_1, ..., g_n)$, então cada magnitude ocorrendo em **α** determina uma quantidade física $G_i (i = 1, 2, ..., n)$ que pode ser medida em **σ**. Então os resultados da medição de **σ** destas quantidades físicas devem admitir n valores $g_1, ..., g_n$ que, na contraparte matemática MAT do modelo,

[21] Nesta e nas próximas definições forneceremos versões simplificadas das definições propostas pelos autores antes citados.

[22] Esta é outra forma de expressar a relação de uma grandeza em função de outra, como por exemplo a relação ***f* = *ma***, exemplificada no texto.

seja satisfeita a relação A com uma certa precisão ε, já calculada anteriormente. Quando este é o caso, dizemos que α é verdadeira com respeito a σ, e escrevemos $\models_\sigma \alpha$. α, por sua vez, é verdade no modelo M, em símbolos, $M \models \alpha$ se, e somente se, α é definida para no mínimo um $\sigma \in$ EXP, como dito.

Por exemplo, vamos tomar novamente a segunda lei de Newton f = m.a. As três variáveis físicas aparecem nesta equação correspondendo às três quantidades físicas determinadas *força* (f)*, massa* (m) e *aceleração* (a), as quais aceitam valores com respeito a uma certa situação física σ, com respectivamente três intervalos $[f_1, f_2] \subseteq$ R (reais), $[m_1, m_2] \subseteq$ R, $[a_1, a_2] \subseteq$ R, cada um deles expressando uma certa precisão ε das medições. Então, temos $\models_\sigma$ f = m.a quando existe três números reais $p_1 \in [f_1, f_2]$, $q_1 \in [m_1, m_2]$ e $r_1 \in [a_1, a_2]$, tais que $p_1 = q_1.r_1$. Desta forma, segundo os autores, poderíamos ter três valores ditos 'ideais', tais que $\models_\sigma p_1 = q_1.r_1$ ou $\models_\sigma f = m.a$. Para os autores, de um ponto de vista intuitivo, a noção de verdade que desta forma foi definida representa um tipo de Verdade Empírica (termo cunhado por eles mesmos).

Entretanto, o que se torna problemático é que devido à imprecisão ε, podem existir também outros três números reais p_2, q_2 e r_2, cada um dos quais em seu respectivo intervalo de erro (ou seja, $p_2 \in [f_1, f_2]$, $q_2 \in [m_1, m_2]$ e $r_2 \in [a_1, a_2]$), tal que $\neg(p_2 = q_2.r_2)$, e *estes números também são valores aceitáveis para a medição de uma correspondente quantidade física, já que estão dentro do 'intervalo de erro'*, como dito. Então, *também temos em um mesmo modelo físico* $\models_\sigma \neg(f = m.a)$ (*quando interpretamos os valores 'com erro'*) que é a negação da lei de Newton e a qual deve ser também 'verdadeira' com respeito ao mesmo sistema físico σ onde estamos trabalhando. Deste modo, devido ao erro ε, dado um modelo M, podemos ter para uma sentença α (que expressa uma lei física) e uma mesma situação física $\sigma \in$ EXP*,* ambos $M \models_\sigma \alpha$ e $M \models_\sigma \neg\alpha$, mas não temos, é claro, $M \models_\sigma \alpha \wedge \neg\alpha$. Ou seja, podemos ter $M \models_\sigma (f = m.a)$ e $M \models_\sigma \neg(f = m.a)$*,* mas certamente – e isto é importante - não teremos $M \models_\sigma (f = m.a) \wedge \neg(f = m.a)$ [conjunção lógica aqui], para uma mesma situação física σ. Isto porque, se fosse este o caso, deveriam existir três números reais p', q' e r', cada um pertencente ao seu respectivo intervalo, tais que $M \models_\sigma (p' = q'.r') \wedge \neg(p' = q'r')$, ou $M \models_\sigma (f' = m'.a') \wedge \neg(f' = m'.a')$ ao mesmo tempo, o que é impossível.

Deste modo, o que queremos é ter sentenças contraditórias (entendidas do modo acima) em nosso sistema, *mas não queremos obter a conjunção* (e, logo, a *contradição formal*) dessas sentenças. A partir disso vemos que a *lógica subjacente a tal situação não pode ser a clássica,* uma vez que, na lógica clássica, de α e $\neg\alpha$, sempre podemos derivar $\alpha \wedge \neg\alpha$, o que não é pretendido neste caso. Além disso, a natureza do problema também reside no fato de que se tomarmos agora na lógica clássica a fórmula derivada $\alpha \wedge \neg\alpha$, disso derivamos 'tudo', pois $(\alpha \wedge \neg\alpha) \rightarrow \beta$ é teorema (lei de Scotus).

Assim, somos levados a analisar a possibilidade de se fundar tal semântica em um sistema paraconsistente (na verdade, um outro 'tipo' de lógica paraconsistente, a saber, a paraclássica), como apontado em da COSTA E KRAUSE (2005; 2006). Utilizando uma lógica deste tipo, podemos ter ambos $M \models_\sigma \alpha$ e $M \models_\sigma \neg\alpha$, (ou $M \models_\sigma (f = m.a)$ *e* $M \models_\sigma \neg(f = m.a)$) sem que a partir disso seja possível derivar uma conjunção lógica dessas duas sentenças (e, logo, uma contradição) e assim uma trivialização do sistema.

Este assunto, a saber, a possibilidade de fundamentarmos tal problemática em uma lógica distinta da clássica, é tema de discussão da próxima seção.

Lógicas paraconsistentes e lógica paraclássica

As lógicas paraconsistentes são aquelas que fundamentam sistemas lógico-dedutivos onde podem haver inconsistência neste sistema (por exemplo, quando temos duas proposições, α e $\neg\alpha$, uma sendo contraditória assim da outra, ou explicitamente uma contradição ($\alpha \wedge \neg\alpha$)), mas que, por sua vez, nem toda a fórmula bem formada é teorema desse sistema (não trivialidade), como aconteceria na lógica clássica, onde essa ligação é inseparável.[23] Deste modo, dito por alto, uma lógica paraconsistente é uma lógica que pode alicerçar sistemas inconsistentes, mas não-triviais.[24] Uma teoria dedutiva, por sua vez, é dita ser paraconsistente se a lógica que fundamenta tal construção é uma lógica paraconsistente. Nesta seção exibiremos a base lógica um 'tipo' de lógica paraconsistente: a chamada *lógica paraclássica,* e na seção seguinte mostraremos como esta ferramenta nos permite tratar do problema antes descrito.

De modo ao texto ficar auto contido, primeiramente faremos uma breve explanação de alguns conceitos básicos da lógica clássica. Uma lógica, num contexto algébrico, pode ser caracterizada como sendo um par ordenado $L = <\mathbf{F}, \vdash>$, sendo $\mathbf{F}$ um conjunto não-vazio cujos elementos são chamados de fórmulas, e $\vdash$ o operador de dedução que permite passarmos de fórmulas, ou conjunto de fórmulas, para outras fórmulas (do modo que definiremos adiante).

Um subconjunto Γ de fórmulas da linguagem *l* é uma teoria se é fechado pela dedução $\vdash$, ou seja, se todas as deduções obtidas a partir de fórmulas desse conjunto ainda pertencem a ele.

Assim, sendo Γ uma teoria da linguagem *l,* dizemos que Γ é contraditório se, e somente se, existe um α tal que:

$$\Gamma \vdash \alpha \text{ e } \Gamma \vdash \neg\alpha$$

Além disso, tendo $\Gamma \vdash \alpha$ e $\Gamma \vdash \neg\alpha$, podemos derivar, em lógica clássica, a conjunção ($\Gamma \vdash \alpha \wedge \neg\alpha$) como visto anteriormente, o que é uma contradição.

Uma teoria Γ é dita ser explosiva (ou trivial) se satisfaz a seguinte condição, para um Γ contraditório:

$$\Gamma \vdash \beta, \text{ para toda } \beta \text{ pertencente à linguagem}$$

---

[23] Com efeito, na lógica clássica, como dito, temos que de $\alpha \wedge \neg\alpha, \rightarrow \beta$ ou seja, de $\alpha \wedge \neg\alpha$ derivamos β, para β qualquer, de forma que uma contradição implica trivialidade. A recíproca é óbvia: se em um sistema derivamos 'tudo' (expresso em sua linguagem), derivamos em particular uma contradição. Desta forma, *módulo* a lógica clássica, uma teoria é inconsistente se, e somente se, é trivial. Sobre isso ver MENDELSON, 1979, p. 34.

[24] Sendo assim, a lógica paraconsistente também é a lógica em que não vale, em geral, o princípio chamado *ex contradictione quodlibet (ECQ),* ou seja, de uma contradição tudo se segue. Para mais referências sobre a lógica paraconsistente em particular, bem como algumas de suas aplicações, consultar da COSTA, KRAUSE e BUENO, 2007; bem como PRIEST, TANAKA e WEBER, 2015.

Uma *lógica paraclássica* pode agora ser definida da seguinte forma.[25] Seja C um sistema axiomático do cálculo proposicional clássico (com sua linguagem particular). Assumimos que o conceito de dedução em C é o usual e usamos o símbolo $\vdash$ para denotar uma dedução em C.

Definição 1: Seja Γ um conjunto de fórmulas de C, e seja α uma fórmula (da linguagem de C). Então dizemos que α é uma P-consequência (sintática) de Γ, e escrevemos $\Gamma \vdash_P \alpha$, se, e somente se:

(P1) $\alpha \in \Gamma$, ou
(P2) α é uma tautologia da lógica clássica, ou
(P3) Existe um subconjunto consistente (de acordo com a lógica clássica) $\Delta \subseteq \Gamma$, tal que $\Delta \vdash \alpha$ (na lógica clássica).[26]

Definição 2: P é a lógica na qual a linguagem é a de C e na qual a relação de conseqüência é uma P-consequência. Tal lógica é chamada *paraclássica.*

Teorema 1: Se α é um teorema do cálculo proposicional clássico C, e se Γ é um conjunto de fórmulas de C, então $\Gamma \vdash_P \alpha$; em particular, $\vdash_P \alpha$.

Prova: Se α é um teorema do cálculo proposicional clássico, pelo teorema da correção ele é uma tautologia. Então por (P2) acima e pela monotonicidade do cálculo proposicional clássico, temos que $\Gamma \vdash_P \alpha$. Além disso, sendo α um teorema (e, logo, uma tautologia) da lógica clássica ele pode ser, em um caso particular, um teorema deduzido de um conjunto vazio de premissas, logo podemos ter, neste caso particular, que $\vdash_P \alpha$. ■

Teorema 2: Se Γ é consistente (de acordo com C), então $\Gamma \vdash \alpha$ (em C) se, e somente se, $\Gamma \vdash_P \alpha$ (em P).

Prova: Se existe um subconjunto consistente (de acordo com a lógica clássica) Γ, tal que $\Gamma \vdash \alpha$, este conjunto respeita o postulado (P3) e α se torna também uma P-consequência (sintática) de Γ, denotado por $\Gamma \vdash_P \alpha$ (*Cf.* definição 1). ■

Teorema 3: Se $\Gamma \vdash_P \alpha$, e se $\Gamma \subseteq \Delta$, então $\Delta \vdash_P \alpha$ (isto é, a noção de P-consequência é monotônica).

Prova: Como visto, a noção de P-Consequência é uma extensão da noção de dedução da lógica clássica, já que mantém suas principais características. Além disso, a noção de dedução (ou de conseqüência) em lógica clássica é monotônica: se começarmos com um argumento dedutivamente válido, então, independentemente das premissas que acrescentarmos, temos no fim um argumento dedutivamente válido, (isto é, se α é provado de um conjunto Γ de premissas, então se

[25] O restante desta seção, bem como os teoremas em sequência enunciados, tem como base o trabalho de da Costa e Krause, 2005. Com relação a conceitos como completude, correção, decidibilidade etc., sugerimos consulta à obra de MENDELSON, 1979.

[26] Uma análise semântica para o cálculo P, incluindo com o teorema da completude, foi obtida no trabalho de da COSTA e VERNENGO, 1999. A lógica paraclássica pode ser inclusive estendida para o nível quantificacional, lógicas de ordem superior etc., mas para os propósitos do presente trabalho, o sistema proposicional P apresentado aqui se configura suficiente.

adicionarmos mais premissas, α continua sendo provado). Em símbolos, se $\Delta \subseteq \Gamma$ e $\Gamma \vdash \alpha$, então $\Delta \vdash \alpha$. Devido a isso, e com a utilização do postulado (P3) acima, está provado o teorema. ■

Teorema 4: Se as teses de P (ou seja, as fórmulas válidas de P) são aquelas de C, então P é decidível.

Prova: Um sistema formal é dito decidível quando existe um método efetivo para saber se uma dada fórmula-bem-formada é um teorema ou não deste sistema. No cálculo C em questão, há tal método (pelas tabelas verdade e pelo teorema da completude). Logo, se as teses de P são aquelas de C, então C é decidível. ■

Definição 3: Um conjunto de fórmulas de Γ é P-trivial se, e somente se (see), $\Gamma \vdash_P \alpha$ para toda fórmula α. Se não for o caso, Γ é P-não-trivial.

Definição 4: Um conjunto de fórmulas Γ é P-inconsistente see existe uma fórmula α tal que $\Gamma \vdash_P \alpha$ e $\Gamma \vdash_P \neg\alpha$. Se não for o caso, Γ é P-consistente.

Teorema 5: Se $\{\alpha, \neg\alpha\} \subseteq \Gamma$, então Γ é P-inconsistente, mas P-não-trivial.

Prova: Da definição 4 acima, se Γ contiver $\{\alpha, \neg\alpha\}$, Γ é P-inconsistente. Porém, ao mesmo tempo, pela definição 3, Γ é P-não-trivial, já que de acordo com o postulado (P3) não podemos obter um subconjunto Δ do cálculo C, tal que $\Delta \subseteq \Gamma$, e que contenha $\{\alpha \wedge \neg\alpha\}$ e seja, ao mesmo tempo, consistente. Logo, se não podemos obter tal conjunto, não podemos deduzir nada a partir dele, e pela definição 3 ele é então P-não-trivial. ■

Teorema 6: Se um conjunto de fórmulas de Γ é P-trivial, então ele é trivial (no cálculo C). Se Γ é não-trivial, então ele é P-não-trivial.

Prova: Utilizando as definições 3 e 4 e do fato de ser o cálculo P uma extensão do cálculo C, onde vale a definição de trivialidade ($\alpha \wedge \neg\alpha \vdash \beta$). ■

Teorema 7: Se Γ é P-inconsistente, então é inconsistente de acordo com o cálculo C. Se Γ é consistente, de acordo com o cálculo C, então Γ é P-consistente.

Prova: O cálculo C é inconsistente se $\alpha \wedge \neg\alpha$ é teorema deste cálculo. Assim, já que o cálculo P é uma extensão do cálculo C, e de acordo com a definição 4 acima, fica provado o teorema. ■

Verdade empírica, lógica paraclássica e física

Como visto, se T é um sistema (teoria) fundamentado na lógica paraclássica P, então podemos ter $\Gamma \vdash_P \alpha$ e $\Gamma \vdash_P \neg\alpha$, sem que possamos disto deduzir $\Gamma \vdash_P (\alpha \wedge \neg\alpha)$ (*Cf.* Postulado (P3)) e assim a trivialização do sistema.

Retomando nossa discussão anterior, supondo que $M \models_\sigma (f{=}ma)$ (que representa os valores 'ideais' de medição) seja a proposição α, e $M \models_\sigma \neg(f = ma)$ (que representa os valores 'aceitáveis', ou seja, com os erros da medição) seja a proposição $\neg\alpha$, dada a lógica paraclássica, podemos agora ter $\Gamma \vdash_P \alpha$ e $\Gamma \vdash_P \neg\alpha$ em um mesmo sistema físico σ, sem que seja permitida pela lógica subjacente que utilizamos para fundamentar tal sistema, deduzirmos a conjunção $\Gamma \vdash_P \alpha \wedge \neg\alpha$ que representaria $M \models_{\sigma} (f = ma) \wedge \neg(f = ma)$.[27] Com efeito, isto acontece porque não existe, de acordo com a lógica clássica C, um subconjunto consistente de fórmulas $\Delta \subseteq \Gamma$ tal que $\Delta \vdash \alpha \wedge \neg\alpha$. Se fosse o caso, teríamos uma violação do postulado (P3) da lógica paraclássica. De certa forma, de acordo com o teorema 6 provado anteriormente, podemos dizer que os sistemas físicos em que tal problemática ocorra, a saber, todos os sistemas físicos onde existem erros de medição, são sistemas físicos P-inconsistentes, já que temos α e $\neg\alpha$, mas são, por sua vez, P-não-triviais.

Portanto podemos dizer que a lógica subjacente ao conceito de verdade empírica pode ser também a lógica paraclássica. De qualquer forma, é bom que se enfatize, trata-se também de uma lógica paraconsistente, como visto.[28]

A importância filosófica do que foi feito acima pode ser considerada a partir da possibilidade de obtermos sistemas inconsistentes, mas não-triviais. Como visto, numa teoria em que a lógica subjacente é a paraclássica, podemos obter teoremas contraditórios (ou seja, $\Gamma \vdash_P \alpha$ e $\Gamma \vdash_P \neg\alpha$) sem a possibilidade de fazermos a conjunção lógica destes e, desta forma, sem reduzir nosso sistema à trivialidade (*Cf.* Postulado (P3) e Teorema 5). No caso dos sistemas físicos com o erro ε acima considerado, a situação não é diferente: proposições contraditórias podem ser ambas 'verdadeiras' sem no entanto reduzirmos isso a uma contradição ou uma trivialização do nosso sistema. Desta forma, a lógica paraclássica pode ser usada para providenciar um *'framework'* mais refinado para a caracterização das possíveis 'inconsistências do nosso conhecimento' sobre a realidade (ou do que podemos obter dela), e se torna, assim, uma alternativa extremamente frutífera de um ponto de vista heurístico.

O ganho epistemológico que temos com este *framework* é enorme, pois podemos manipular assim sistemas em que temos proposições incompatíveis e excludentes entre si, sem com isso termos o inconveniente de obtermos contradições no nosso sistema. Isso é muito mais próximo ao modo como o físico pensa e como trabalha em seu laboratório no dia a dia. Com efeito, nenhum físico pensaria que apesar de termos vários valores compatíveis para uma certa medida experimental (no sentido de estarem todos dentro da 'extensão' aceita para os erros de uma certa medição), deveríamos ter todos ao mesmo tempo conjugados (seja logicamente, seja epistemologicamente). Nossa abordagem permite assim tratarmos de um modo mais 'sensato', por assim dizer, a situação formal que evidenciamos no texto. Como pontuaremos abaixo, esta situação talvez seja também muito mais próxima ao modo como o próprio ser humano pensa a realidade, isto é, à forma como ele pensa que as coisas possam existir (ou, ainda melhor, ao modo que acreditamos que nós podemos ter acesso a elas).

Existem vários outros exemplos que poderíamos citar nos quais tal lógica paraconsistente pode ser utilizada para dar uma arcabouço mais formal para teorias em que de certo modo temos conceitos contraditórios em um mesmo sistema, mas que não desejamos que tais conceitos sejam conjugados logica-

[27] Lembramos que a lógica paraclássica é completa.

[28] Na chamada "lógica de Jaskowski", de duas proposições α e $\neg\alpha$, em geral não se deriva a sua conjunção $\alpha \wedge \neg\alpha$. Este sistema pode igualmente fundamentar o conceito de verdade empírica como mostrado por da Costa e Dória (1995), embora utilizando modalidades e coisas do gênero. Deste modo, o uso da lógica paraclássica aqui apresenta uma grande vantagem: a de maior simplicidade.

mente. Um outro caso bastante emblemático se refere à chamada *dualidade onda--partícula* para os elétrons, onde os mesmos podem se comportar (ou seja, exibir propriedades) ora como onda, ora como partícula, mas não os dois casos ao mesmo tempo. Bohr chamou tais características de "complementares", conceito este que se tornou essencial para o modo como os físicos entendem a natureza quântica. Assim, pode-se definir

> complementaridade como a coexistência, para um mesmo fenômeno físico, *de duas descrições diferentes, aparentemente incompatíveis, mas ambas necessárias para uma representação completa do sistema*. [...] As duas condições são mutuamente exclusivas, é claro, *porque uma determinada coisa não pode ser ao mesmo tempo uma partícula e uma onda*. (BRENNAN, 2003, p. 159, grifo meu).

Neste sentido, utilizando o aparato paraclássico acima descrito, podemos ter em um mesmo sistema físico-formal *Q*, uma sentença α, que poderia representar "partícula" e uma sentença $\neg\alpha$, que poderia representar "não-partícula" (ou "onda", no caso), sem com isso podermos obter a conjunção destas duas sentenças, como já mostrado, de modo que tal formalização parece ir ao encontro do pensamento de Bohr. O entendimento de que as partículas quânticas podem apresentar características complementares é muito mais filosófica do que propriamente formal (com efeito, tal entendimento é um dos conceitos basilares da chamada *Interpretação de Copenhagem* da mecânica quântica). Dada a extensão deste artigo, e dado o fato de que nosso principal foco aqui foi a questão de uma possível formalização dos erros presentes em *medições* físicas, tal possibilidade de tratar paraclassicamente também o conceito de complementaridade fica aqui enunciada apenas como um aceitável projeto de estudo futuro.[29]

É bom que se diga que não queremos aqui defender que a física deva, em todos os casos, *obrigatoriamente* demandar uma lógica distinta da clássica, ou que, na natureza, de alguma forma existam "contradições reais". O que oferecemos neste artigo foi muito mais uma alternativa para resolver um problema apresentado. Como quase tudo em filosofia, esta alternativa se configura numa *possibilidade*: a de usarmos, de um modo que parece 'permitido' pela própria física, uma lógica distinta da clássica para fundamentar um problema. Muitos pensadores, como Quine, por exemplo, acreditavam que a lógica clássica resolve muito bem todos os problemas apresentados até agora e, caso não resolva, é porque ainda não se encontraram meios para abarcar tal problema dentro da estrutura conceitual desta lógica e que, mais cedo ou mais tarde, isto vai ser resolvido (sempre com lógica clássica).[30] Todavia defendemos que, como dito, se uma ciência parece necessitar de certas ferramentas que a lógica clássica não fornece, perguntamos porque não procurar estas ferramentas em outra lógica?[31] Por acaso seria a lógica

[29] Com efeito, o conceito de complementaridade de Bohr sempre foi motivo para grande discussão, e mesmo Einstein não estava 'confortável', por assim dizer, com tal abordagem complementar da natureza (neste sentido, ver a obra de Brennan indicada, onde é possível consultar mais referências sobre este assunto).

[30] Apesar de ser um ferrenho defensor da exclusividade da lógica clássica como ferramenta para embasamento de questões epistemo-científícas, Quine, no final de sua vida, também abriu a possibilidade e começou a admitir que a mecânica quântica talvez demandasse uma lógica distinta da clássica. Neste sentido, veja (QUINE, 1976).

[31] De certo modo, como citamos na nota anterior, o próprio Quine também passou a aceitar uma posição neste sentido.

clássica mais um dos "raciocínios analíticos", a priori, de Kant, que não são passíveis de modificações durante a nossa existência? Esta questão parece ter uma resposta negativa. Grosso modo, pode ser dito que a lógica clássica é a lógica que capta o que temos por intuitivo, mas isso não quer dizer que tal arcabouço técnico seja o único possível e/ou o único correto (com efeito, muitas outras vezes a intuição humana já se mostrou errada). Pensamos que a lógica clássica seria um primeiro estágio, necessário para um primeiro entendimento das coisas a partir deste ponto de vista, e que parece espelhar muito bem a nossa intuição. Porém, usando uma paráfrase a Nietszche, "subimos mais a montanha" e aqui de cima a lógica clássica não nos fornece mais o suporte necessário à nossa caminhada.

Muitos pensadores argumentam que, caso mudemos a lógica que fundamenta a física, mudamos também a própria física. Não obstante, de certa forma não há problema nisso quando a própria física parece permitir (e solicitar!) que façamos uso de lógicas destoantes da clássica para fundamentá-la. Não estaremos modificando nada da física se ela mesma pede para que utilizemos um arcabouço racional diferente. Esses problemas são problemas da lógica (e não da natureza, ou seja, da física), e estaremos sim mudando a lógica que fundamenta a física, mas talvez não a física em si, já que esta, em seu âmago, parecer ser um pouco diferente do modo pelo qual estamos acostumados a vê-la. Por esses e outros motivos, talvez seja agora a hora de visualizarmos a física a partir do ponto de vista da paraconsistência. Além disso, nas lógicas paraconsistentes, a maioria dos resultados encontrados em lógica clássica são mantidos, sendo que a primeira se configura como uma extensão da segunda. Assim, nada agora é mais produtivo do que iniciarmos a exploração da 'selva' da paraconsistência: talvez lá achemos argumentos para que a racionalidade científica seja mantida e, desta forma, a própria física seja 'salva', evitando paradoxos e contradições que - dito novamente - muitas vezes não parecem estar na física, mas sim na lógica que estamos utilizando para fundamentá-la. Fazendo uso aqui de uma metáfora (que sempre é uma boa ferramenta de compreensão), é como se nunca saíssemos de casa porque achamos que a lei (no caso aqui, a física) não permite o ir e vir livremente das pessoas. Depois de algum tempo saímos de casa (desrespeitando assim a lei que temos como certa), e perguntamos por que não podíamos fazer sempre isso, começando a advogar que tal coisa deva ser permitida, já que não se vê nela maiores problemas. Porém, não sabemos que a lei (aqui, a física) nunca proibiu tal coisa! Este quadro acima é muito parecido com a discussão que tivemos anteriormente.

De todo modo, pensando do ponto de vista mais filosófico, são interessantes as possibilidades abertas por esta abordagem. No nosso dia a dia, pensamos muitas vezes de forma paraclássica, por assim dizer, estabelecendo de forma imaginativa prós e contras de uma *mesma* determinada situação, sem que por isso queiramos dizer que todas as possibilidades existirão ao mesmo tempo. Assim, deixamos ainda aberta também a indagação sobre se a lógica clássica realmente também seria um arcabouço suficiente para formalizar o modo que pensamos.

Conclusão

Porém é bom que se diga que não queremos aqui defender a idéia de que devemos, em algum sentido, simplesmente 'eliminar' a lógica clássica. Ela continua sendo válida e é, como foi provado até hoje, uma ferramenta muito poderosa, sendo que em certas aplicações seu uso ainda deve ser fortemente apoiado. Nem desejamos dizer que a lógica clássica está errada ou qualquer coisa do gênero, e que deve ser substituída por alguma outra. O que enfatizamos somente é que, em certos domínios do conhecimento, a lógica clássica parece não abarcar todas as particularidades existentes em tal campo e, assim, uma lógica como a paraconsistente pode ser mais adequada em expressar tais características pontuadas. Além disso, uma lógica que utilize preceitos paraconsistentes pode tornar mais explícitas algumas estruturas as quais (pelo menos aparentemente) parecem não ser muito visíveis se utilizarmos a lógica clássica. Desta forma, podemos dizer que na verdade o que se faz necessário talvez seja restringir o campo de aplicação da lógica clássica se desejarmos entender melhor certos aspectos importantes de alguns domínios do conhecimento humano. Assim, em certos casos, continuamos utilizando a lógica clássica ou outro tipo de lógica. Em outros, de acordo com a conveniência e necessidade, a lógica paraconsistente pode suportar melhor tal quadro conceitual e deve ser então utilizada em detrimento a outras. Isso é explícito pelo fato de muitas das lógicas paraconsistentes serem, na verdade, 'extensões' da lógica clássica, ou seja, em uma possível acepção, ela é 'simplesmente' uma extensão da nossa ferramenta para conseguirmos tratar bem inconsistências sem o perigo da trivialização.

Entretanto é interessante que se diga que o físico, em geral, não está preocupado com este tipo de problema (pelo menos aqueles que não são afeitos à lógica e à filosofia da ciência em geral). No laboratório tudo se passa 'normalmente', como se houvesse apenas uma e única medição em questão. Porém, se passearmos em um laboratório onde está sendo realizada uma mesma experiência por diversos grupos de cientistas, com as mesmas condições iniciais e de contorno, pode-se ver, por exemplo, que para cada grupo a terna $<a, b, c>$ (que representa, é claro, uma lei física do tipo $a = b.c$) terá uma magnitude diferente. Como dito, para o físico em geral isso não constitui um problema. Este, na sua maneira 'informal' de tratar as experiências, toma este fato como uma simples característica da sua ciência. No final das contas o cientista aceita então como sendo a medição qualquer quantidade que pertença ao intervalo $(b - \varepsilon, b + \varepsilon)$ sem maiores problemas. O que se torna problemático, como visto, é o tratamento lógico de tal intervalo. Como o cientista não se preocupa muito com tais características, haja vista este tema fugir de suas funções, cabe ao matemático, ao lógico e ao filósofo da ciência tal análise. Para o filósofo principalmente, preocupado com questões de fundamento, esta característica é de suma importância dado que parece promover, de certa forma, um paradoxo: temos uma contradição 'informal' da teoria em relação ao modelo físico. Como ressaltado neste artigo, este problema parece que pode ser facilmente resolvido se utilizarmos para tanto a lógica paraclássica exposta.

Referências bibliográficas

BRECHT, B. (1938-1939). *Vida de Galileu* in *Bertold Brecht:* teatro completo em 12 volumes, v. 6, São Paulo: Paz e Terra S.A., 1991. p. 51-171.

BRENNAN, R. P., *Gigantes da Física:* uma história da física moderna em oito biografias. Rio de Janeiro: Zahar Editor, 2003.

CARTWRIGHT, N. *How the laws of physics lie.* Oxford University Press, 1983.

CHALMERS, A. F. *O que é Ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1999.

DA COSTA, N. C. A. E DÓRIA, F. A., On Jáskowski discoursive lógic in *Studia lógica*, n. 54, 1995, p. 36-60.

DA COSTA, N. C. A. E KRAUSE, D. Remarks on the applications of paraconsistent logic to physics. In: Pietrocola, M. e Freire, O. (Eds.). *Filosofia, ciência e história*. São Paulo: Discurso Editorial, 2005. p. 337-359.

_______. The logic of complementarity. In: VAN BENTHEM, Johan; HEINZMANN, Gerhard; REBUSCHI, Manuel; VISSER, Henk. *et. al*.(Org.). *The Age of Alternative Logics: Assessing Philosophy of Logic and Mathematics Today.* 1 ed.: Springer, 2006, v. 1, p. 103-120.

DA COSTA, N. C. A., KRAUSE, D. & BUENO, O. "Paraconsistent Logics and Paraconsistency." In: JACQUETTE, D. (Ed.). *Philosophy of Logic (Handbook of the Philosophy of Science)*, North-Holland, 2007. p. 791-912.

______. E VERNENGO, R. J., Sobre algunas lógicas paraclássicas y el análises del razonamiento jurídico, *Doxa*, n. 19, 1999. p. 183-200.

DALLA CHIARA, M. L. E TORALDO DI FRANCIA, G., *Confines:* introducción a la filosofía de la ciência. Barcelona: Editorial Crítica, 2001.

DRAKE, S. *Galileo Studies:* personality, tradition and revolution. Michigan: University of Michigan Press, 1970.

GALILEI, G., *O ensaiador.* São Paulo: Nova Cultural, 1996.

_______, *Duas novas ciências.* São Paulo: Nova Stella Editorial, 1935.

HEISENBERG, W. *Encounters with Einstein and other essays on people, places and particles,* Princeton: Princeton Un. Press, 1989.

KANT, I. (1781), *Crítica da razão pura.* Lisboa: editora da fundação Calouste Gulbenkian, 1997.

KOYRÉ, A. *Du monde de l' "à-peu-prés" à l'univers de la precision.* Paris: Armand Collin, 1961.

________. *Estudos de história do pensamento científico* (3. ed.). Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011.

LUCE, R. D. E SUPPES. P. *Measurement theory.* 15th ed., [s.i]: The New Encyclopaedia Britannica, 1987, v. 23, p. 792-798.

MENDELSON, E. *Introduction to mathematical logic* (2. ed.). California: Wadsworth Advanced Books & Software, 1979.

PEDUZZI, L. O. Q. *As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de Mecânica – Livro 2; força e movimento:* de Thales a Galileu. Tese (Doutorado), UFSC, 1998. p. 233-397.

PIACENTINI, J. J. *et al. Introdução ao laboratório de física*. Florianópolis: editora da UFSC, 1998.

POINCARÉ, H., *La science et l´hypothèse*. Paris: Flammarion, 1917. p. 167-188.

PRIEST, G., TANAKA, K. E WEBER, Z., Paraconsistent Logic. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2015 Edition), Edward N. Zalta (Ed.). URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/logic-paraconsistent/>.

QUINE, W., Whither Physical Objects? In COHEN, R. S., FEYERABEND, P. K e WARTOFSKY, M. W. (Ed.). *Essays in Memory of Imre Lakatos* (Boston Studies in the Philosophy of Science). D. Reidel Publishing Company, 1976, p. 497-504.

SUPPES, P. *Introduction to logic,* Van-Nostrand, 1957.

TORALDO DI FRANCIA, G. *The investigation of the physical world,* Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

TORALDO DI FRANCIA, G. E DALLA CHIARA, M. L. *Formal analysis of physical theories* In: TORALDO DI FRANCIA, G. (Ed.). *Problems in the foundations of physics.* North Holland, 1979, p. 134-201.

Sobre o autor

Jaison Shinaider
Doutor e professor de filosofia do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Caçador.
Email: jaisonsc@gmail.com

Recebido em 26/2/2018
Aprovado em 28/8/2018

Como referenciar esse artigo

SHINAIDER, Jaison. Uma lógica para alicerçar o erro experimental da física. *Argumentos*: Revista de Filosofia. Fortaleza, ano 10, n. 20, p. 27-49, jul.-dez., 2018.