

RELACIONISMO, EXIGÊNCIAS EMPIRICISTAS E RELATIVIDADE.

RELATIONISM, EMPIRICIST REQUIREMENTS AND RELATIVITY.

Elton Marques,
(UL, Lancog, Portugal)
(CNPq Brasil)

Ideo Videntur Locus e Tempus non pendere a corporibus corporeaque adeo accidentia non esse. Pierre Gassendi (1592-1655).

RESUMO

O relacionismo é uma doutrina que aceita algumas exigências para a ontologia do espaço-tempo. Em tese, o relacionismo é a única proposta capaz de atender a essas exigências. Procurarei mostrar: a) o compromisso empirista subjacente; b) alguns critérios e exigências que o relacionista se impõe (explícitos ou implícitos); c) nossa melhor teoria sobre o espaço-tempo não é plenamente relacionista, apesar do desejo confesso de seu autor; d) as exigências não são inelimináveis, levando-se em consideração sua restritividade para o poder explicativo de teorias. Após discutir a pertinência das exigências relacionistas, este artigo apresentará um argumento favorável ao substantivismo.

Palavras chave: substantivismo, relacionismo, espaço-tempo, princípio de Mach, empirismo.

ABSTRACT

Relationism is a doctrine that accepts some requirements for the ontology of spacetime. In theory, relationism is the only proposal capable of meeting these requirements. I will try to show: a) the underlying empiricist commitment; b) some criteria and requirements that the relationist imposes (explicitly or implicitly); c) that our best theory of spacetime is not fully relationist, despite the avowed intention of its author; d) that the requirements are not ineliminable, taking into account their being restricted to the explanatory power of theories. After discussing the relevance of the relationist requirements, this essay will present an argument for substantivalism.

Keywords: substantivalism, relationism, space-time, Mach's Principle, empiricism.

Introdução

Na primeira seção, procuro definir as doutrinas rivais, substantivismo e relacionismo. Ao invés de apresentar uma definição fechada, procuro identificar essas teses como famílias de doutrinas que se opõem. Na segunda seção, apresento alguns postulados reconhecidos do relacionismo. O objetivo é fazer ver o relacionismo como uma doutrina que procura (consoante diferentes autores) ou a redução de conceitos absolutos a conceitos relativos, ou a eliminação de entidades como espaço e tempo da nossa ontologia. Naturalmente, um relacionista pode ser ambos, reducionista e eliminativista. Na terceira seção, apresento aquilo que acredito ser a motivação que o relacionista tem, i.e., atender a demandas herdadas de propostas empiristas, as quais revelam desafios que o interprete filosófico de teorias científicas teria de cumprir. Em tese, o relacionista é o único teórico capaz de atender aos pontos especificados nas subseções 3.1 e 3.2. Na quarta seção, apresento algumas dificuldades em

fazer das teorias da relatividade exemplos capazes de atender a demandas herdadas de expectativas empiristas. Tratam-se de dificuldades conhecidas e discutidas em ampla literatura. Nas seções a seguir, respondo aos desafios particulares cujas questões têm inspiração em Mach e Leibniz, mobilizando a literatura necessária. As respostas às exigências machianas dizem respeito a uma classe de dificuldades que a GR teve para se fazer um exemplar machiano. Já a resposta aos princípios leibnizianos recupera parte da doutrina newtoniana, porém adaptada ao contexto da GR. Na sétima seção, apresento um argumento favorável ao substantivismo, seguido de algumas considerações de caráter conclusivo. Devido à complexidade de alguns tópicos, dada a impossibilidade de que sejam trabalhados detalhadamente, tentarei apenas apresentar uma dialética geral que os caracterize de modo suficiente, porém pouco detalhado. O objetivo será fazer com que o argumento apresentado na seção sete esteja bem informado sobre o conteúdo do debate.

1 Que doutrinas são substantivismo e relacionismo?

O filósofo que tornou corrente o termo “substantivismo” foi Sklar (1974), embora o primeiro uso de que se tenha notícia nos remeta ao filósofo e lógico de Cambridge, Ernest Johnson (1924: 79). Johnson se refere ao espaço absoluto como *substantial*, e ao espaço derivado e dependente de relações, o termo utilizado é *adjetival*. Há diferenças entre as muitas concepções que são ditas substantivistas e relacionistas. Apesar disso, podemos providenciar exemplos relevantes de como essas teses são entendidas quando mencionadas na literatura. O realismo sobre pontos no espaço-tempo pode ser citado como um exemplo para aquilo que “substantivismo” significa. Esse tipo de realismo alega que existem pontos no espaço-tempo, os quais não dependem das relações entre objetos, eventos e processos (Butterfield, 1989: 1-2). Essa doutrina tem algumas diferenças para o absolutismo newtoniano, o qual não admitiria que pontos no espaço-tempo fossem entendidos enquanto substâncias genuínas. O espaço e o tempo, na ontologia newtoniana, são entes cuja existência necessária se segue de propriedades divinas, como, por exemplo, a onipresença e a eternidade (Rynasiewicz, 2014). São absolutos apenas porque não dependem das substâncias, mas não são semelhantes aos corpos materiais. Apesar disso, o substantivismo contemporâneo e o absolutismo newtoniano coincidem em relação a muitas coisas, como, por exemplo, a importância do espaço e tempo para determinar o movimento absoluto e a prioridade do espaço e do tempo relativamente a corpos e processos.

O relacionismo é também uma doutrina com prerrogativas diversas. Gardner, por exemplo, defendeu que a posição de Leibniz é menos rígida que versões relacionistas contemporâneas (Gardner, 1977: 220), especialmente quando comparado com Reichenbach (1928) ou Grünbaum (1963). Para os dois últimos, não seria possível admitir propriedades métricas intrínsecas, as quais, segundo Gardner, Leibniz admitia. Norton, um dos autores mais importantes no resgate a argumentos de cariz leibniziano, recorre a uma analogia iluminadora entre a “espaço-temporalidade” e a “parentalidade”. Só há graus de parentesco mediante relações que se estabelecem entre pessoas. Do mesmo modo, apenas há espacialidade mediante relações entre objetos, e apenas há temporalidade mediante relações que se estabelecem entre processos (Norton, 2015). Friedman também diferencia claramente entre relacionismos, o leibniziano e o reichenbachiano. O primeiro diz respeito a certa sorte de limites para a ontologia do espaço-tempo; já o segundo (juntamente com Grünbaum) exhibe restrições quando do uso desses conceitos, i.e., espaço e tempo não seriam admitidos no discurso filosófico como entidades reais, mesmo quando referidos explicitamente por alguma teoria (Friedman, 1983: 217). Logo, quando houver alguma referência a espaço e tempo, necessário se fará tratá-la como meramente instrumental.

Como se pode ver, há diferenças entre os tipos de relacionismos, e nem sempre os intérpretes estão de acordo sobre o que afinal ser relacionista significa. Como apresentar o relacionismo, considerando que há diferentes propostas? Faz-se necessário uma perspectiva mínima, a partir da qual o contraste com o substantivismo possa emergir. Abaixo, irei optar por explorar o contraste entre alguns enunciados do relacionismo e os famosos enunciados dos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de Newton (1990).

2 Postulados do relacionismo

O relacionismo pode ser apresentado como a seguir e, inspirado na análise que faz sobre isso Horwich (1978: 400), caracterizado como uma doutrina que aceita uma, todas ou algumas dessas proposições:

- a) A existência do espaço e do tempo depende da existência de objetos;
- b) Espaço e tempo não são substâncias;
- c) A localização espacial e temporal dos eventos pode ser analisada em termos das localizações dos objetos entre si;
- d) Todo movimento é relativo, i.e., os objetos só se movem em relação à sua distância de outros objetos;
- e) Quaisquer características do espaço e do tempo (tais como propriedades geométricas e relações entre intervalos) podem ser definidas em termos dos comportamentos de objetos e eventos;
- f) Todos os fatos espaciais e temporais podem ser analisados em termos de conceitos não espaciais e temporais (como na assim chamada teoria causal do tempo, i.d., Reichenbach, 1928).

Muito do que dizem os relacionistas é consequente com projetos reducionistas de reinterpretação de conceitos, como, por exemplo, em E e F. Por sua vez, A, B, C e D são eliminativistas sobre “absolutos”, i.e., espaço, tempo e movimento não são admitidos enquanto absolutos. É particularmente útil o contraste entre os postulados acima e as definições newtonianas, presentes nos *Principia*. Segundo Newton, existe algo como um tempo absoluto, verdadeiro e matemático, que flui uniformemente e contrasta com a duração perceptível e externa. Igualmente, o espaço absoluto existe sem relação alguma com coisas externas, e o espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos (Newton, 1990: 7). O contraste evidente é entre o caráter independente que o newtonianismo confere a espaço e tempo e o caráter dependente que adquirem, quando nossa ontologia é composta por teóricos relacionistas. Com os postulados de A a F em mente, tendo a doutrina newtoniana como contraste, passo agora ao exame das motivações relacionistas. Essas motivações fazem emergir outro detalhe importante: aquilo que os relacionistas aceitam como pressupostos teóricos a orientar o trabalho filosófico, seja de esclarecimento acerca dos conceitos de espaço e tempo, seja de construção de uma ontologia para os mesmos.

3 O empirismo e o relacionismo

A associação entre relacionismo e empirismo merece destaque. Pode-se buscar na inspiração machiana uma fonte maior, que ainda hoje se deseja alcançar. Mach confere um valor extraordinário à economia nas ciências, que devem espelhar o sucesso que a própria natureza realiza. Economia em Mach significa, sobretudo, economia conceptual, o que se deveria realizar com a adoção preponderante da linguagem matemática para a expressão de grandezas envolvidas na construção de hipóteses.

Aceite-se, para fins de argumentação, que há uma proposta mais ou menos compartilhada para uma teoria do espaço e do tempo, cuja qualidade é satisfazer uma demanda herdada de críticas empiristas a concepções metafísicas em geral. Embora seja uma postura que tenha em diferentes autores diferentes tonalidades, é possível indicar uma base comum para o que desejam os relacionistas. A principal característica que une a sua proposta subjaz no corpo dessa doutrina, i.e., a exigência por um conteúdo representacional que atue sem compromisso com entidades transcendentais; espaço e tempo são bons exemplos de entidades desse tipo.

O empirismo, enquanto ideia reguladora para o fazer científico, é uma doutrina de forte apelo. O próprio Einstein desejava estar em conformidade com o machianismo, nos momentos em que discutia a cosmologia do Universo, pensando a satisfação de algumas prerrogativas. As razões que tornam o empirismo atraente são, entre outras, estéticas (simplicidade) e metodológicas (economia). Se

quisermos enunciar o empirismo por meio de credenciais mínimas, talvez possamos fazê-lo nos termos a seguir.

Um empirista tem, pelo menos:

- Um compromisso forte com a experiência sensível e eliminação do discurso científico de tudo o que é inverificável;
- Dedicção para a obtenção de confirmação, a qual deve ser universalizada o máximo possível;
- Um limite para aquilo que pode ser aceito como descrição da realidade, sem remissão a elementos metafísicos; como, por exemplo, os poderes causais e secretos, já discutidos e recusados no notável exemplo de Hume.

É claro que é difícil definir empirismo de maneira peremptória e, a exemplo do que acontece com quem queira uma definição fechada de substantivismo (ou relacionismo), o confronto com filósofos e escolas pode ser frustrante (Bueno, 1999: 22-23). Mas isso não nos impede de sondar o interior de doutrinas antimetafísicas e buscar sua unidade e motivação. Muitas das críticas que o newtonianismo enfrentou, quando da apreciação dos *Principia*, tinham uma relação forte com críticas empiristas a conceitos metafísicos em geral. Em alguns casos, como em Berkeley (1980) e Hume (2000), o peso do empirismo se fez sentir mais decisivamente, uma vez que sua razão para rejeitar o espaço e o tempo absolutos tem, em grande medida, a intenção de evitar descumprir com prerrogativas antimetafísicas.

A seguir, meu foco será apresentar e discutir algumas das questões envolvidas na rejeição do substantivismo, em especial a influência de autores como Mach e Leibniz, ainda hoje reclamados por relacionistas.

3.1 Exigências machianas

Nesta seção, irei tratar princípios de inspiração em Mach como um tipo de exigência antimetafísica que teóricos relacionistas aceitam tentar cumprir. Os princípios a serem discutidos são:

- a) Princípio de Mach: qualquer efeito de inércia é sempre relativo ao centro de gravidade do Universo como um todo (estrelas fixas machianas);
- b) Redução machiana: os conceitos de espaço e tempo devem ser apenas instrumentais na consecução de uma teoria, i.e., tudo o que for atribuído a espaço e tempo pode ser reduzido a certas relações materiais.

O nome “princípio de Mach” nunca foi usado pelo próprio Mach. Sabe-se que Einstein cunhou a expressão em 1918, mas desde 1912 vinha referindo o princípio, que, entretanto, chamava de “princípio de relatividade da inércia” (Assis e Pessoa, 2001: 135). Os enunciados machianos, mutuamente relacionados, surgem em um contexto em que importam os resultados da física newtoniana, a serem repensados pelo empirista. Mach sabia que era preciso reinterpretar o experimento do balde para oferecer elementos de explicação com os quais Newton não podia atuar. Tomando um balde suspenso por uma corda, Newton pensou seu celebrado argumento, cujo poder explicativo se confunde com a perspectiva ontológica em questão, i.e., consegue explicar o comportamento misterioso da água no balde ao mesmo tempo em que supostamente prova haver espaço absoluto. Uma vez posto a girar de modo a formar uma grande tensão na corda, após ser solto, o balde tenderá a girar muitas vezes, em sentido contrário. Após comunicar o movimento à água, a mesma apresentará um comportamento de fuga em relação ao seu centro, quando a subir pelas paredes do balde. Como explicava Newton o comportamento centrífugo da água no balde? Quando consideramos o sistema envolvido no experimento, alguns candidatos naturais e um candidato metafísico distinguem-se. As relações entre água, espaço, balde, Terra ou “estrelas fixas” são os candidatos em questão, dos quais o espaço é o candidato metafísico, aquele que não podemos observar

diretamente. Dito isto, é natural esperar que o autor use os recursos teóricos que lhe estavam disponíveis, os quais dizem respeito à sua própria teoria. Será que o movimento centrífugo da água a subir pelo balde é relativo, ou será um movimento absoluto? Newton opta pela segunda resposta, Mach pela primeira.

É preciso ter em mente que Newton esperava poder identificar o “movimento verdadeiro” por meio de forças inerciais que o indicassem. Era suposto que o movimento absoluto se denunciase por haver uma força real a atuar no corpo retirando-o do estado de repouso. Ora, Terra e estrelas fixas exercem influências de natureza meramente gravitacional sobre a água, não sendo candidatos admissíveis. O Balde, por sua vez, não é um bom candidato, uma vez que qualquer que seja a influência do balde sobre a água, ela permanece inalterável em todos os momentos nos quais o experimento se realiza. Logo, o comportamento da água a formar uma concavidade na superfície não se deve ao movimento da água em relação ao balde (Assis, 1998: 51). O comportamento da água seria um indicativo de um “efeito de inércia” só explicável quando fazemos referência ao espaço absoluto. Na física newtoniana, um corpo de prova no centro de uma casca esférica não é atraído por forças centrífugas. Como é sabido, as forças diminuem na proporção do quadrado da distância, sendo iguais a zero no seu centro; inversamente, todos os corpos são atraídos em direção ao centro da esfera, em uma proporção sempre igual ao quadrado da distância. Ademais, a proposição 70 do livro primeiro, nos *Principia*, faz anularem-se todas as ações das estrelas fixas, devido a sua distribuição homogênea em todo o Universo.

Mach insistiu no papel que as “estrelas fixas” poderiam desempenhar, introduzindo na mecânica expectativas consequentes com novas definições de conceitos. E se girássemos o céu de estrelas? Ninguém poderá dizer que, neste cenário, não apareceriam efeitos de inércia como os esperados no balde de Newton. Outro experimento mental tipicamente machiano consiste em imaginar um “corpo de prova” em um espaço-tempo “vazio”. O que poder-se-ia esperar neste cenário? A resposta consequente com o machianismo é contra intuitiva: em tais cenários, o corpo de prova não apresentaria peso ou qualquer efeito inercial. Não seria, portanto, consequente com Mach lhe atribuir algum movimento, pois o movimento é outra atividade relacional dos corpos. Este é um dos aspectos mais problemáticos do relacionismo em geral, i.e., certas propriedades que costumamos ver como pertencentes às coisas são apresentadas como meramente relacionais.

Mas o que era preciso alterar para que as “estrelas fixas” se tornassem um candidato adequado? Era preciso abandonar aspectos fundamentais do newtonianismo, uma vez que as definições dos *Principia* estariam elas mesmas comprometidas com elementos metafísicos. O mais relevante diz respeito à maneira com que Mach entende o conceito de inércia, implicado por Newton na primeira lei do movimento. Na opinião do filósofo empirista, a inércia é um tipo de interação gravitacional entre todas as partes materiais presentes no universo, i.e., a inércia é uma consequência da aceleração entre essas partes. Newton, diferentemente, entendia a inércia como uma propriedade dos corpos. Trata-se do conceito newtoniano de *vis insita*, ou força de inatividade da matéria (Newton, 1990: 1). Como se pode ver, para eliminar as “monstruosidades metafísicas”, como referiu Mach no prefácio da sétima edição alemã (Mach, 1960: 336-7), seria preciso erigir uma nova mecânica substituindo as definições dos *Principia*, a exemplo de “massa”, “inércia”, etc. Os conceitos deveriam ter já na definição a condição relacionista que lhes é própria.

As exigências machianas, se atendidas, trariam consigo uma razão para aceitar definitivamente a caracterização relacionista do espaço e do tempo. Contudo, a “mecânica relacional” não se tornou ainda bem-sucedida, e tentativas de construí-la são ainda propostas desafiantes, à espera de obter sucesso.

3.2 Exigências leibnizianas

Nesta seção, apresento exigências inspiradas no relacionismo leibniziano, em especial a importância que Leibniz (1983) tem para o chamado *hole argument*. Essa questão surgiu com Earman e Norton,

dizendo respeito a princípios lebnizianos que motivam desafios particulares ao substantivismo. Os princípios em questão são:

P1) Princípio de razão suficiente: nada acontece sem que haja uma razão que lhe seja suficiente;
P2) Princípio da indiscernibilidade entre idênticos: para cada par de objetos, se esses objetos são idênticos, então partilham todas as propriedades entre si, sendo indiscerníveis

As exigências leibnizianas têm, nas versões iniciais referidas pelo autor, um caráter teológico importante: um universo não arbitrário (compreensível, racional) deve oferecer condições para que Deus diferencie pontos no espaço- tempo (Earman e Norton, 1987: 515). Por que razão se pensa que Deus não poderia escolher racionalmente entre pontos no espaço e tempo newtonianos? Sendo o Deus leibniziano um geômetra perfeito, e sendo sua ação sempre motivada para a melhor combinação possível entre todas as coisas, não poderia Deus escolher em tal mundo razões para, por exemplo, criar o homem no instante exato em que o fez, e não em instantes anteriores ou posteriores. Não o poderia pois, em tal mundo, não há razões que tornem uma dentre as escolhas possíveis aquela a ser considerada superior. Mas, se tudo o que existe são relações, Deus saberia o instante exato a escolher pois, na comparação entre todas as relações possíveis, escolheria a melhor. Como só é possível distinguir pontos no espaço-tempo estabelecendo relações entre partes materiais, o relacionismo tornar-se-ia preferível.

Uma maneira mais concordante com o espírito atual das exigências leibnizianas (sem recurso a categorias teológicas) é dada pela “equivalência de Leibniz”. O objetivo é comparar modelos unidos por difeomorfismo em um mesmo espaço-tempo. “Difeomorfismo” é um conceito para variedades isomórfas, aplicado ao múltiplo possível do espaço-tempo, em uma região. Dois modelos unidos por difeomorfismo são leibnizianamente equivalentes se e somente se representam um mesmo mundo fisicamente possível. Aqui, o objetivo é oferecer ao substantivista um teste definitivo. Inspirado em Leibniz, o teste sugere a substituição das posições relativas dos corpos de maneira que suas relações métricas sejam preservadas. Então, impõe-se ao substantivista a seguinte questão: dois modelos unidos por difeomorfismo representam o mesmo mundo possível, ou são mundos diferentes (S)? A resposta compatível com o substantivismo o deixa em desvantagem.

Einstein havia notado que a covariância intrínseca à teoria da relatividade podia tornar a sua teoria indeterminista. Ele apresentou as equações da GR como sendo covariantes entre si. Covariância é um termo introduzido por Minkowski para se referir à igualdade nas equações entre dois sistemas inerciais diferentes. A princípio, o autor da teoria da relatividade teria apresentado sua reflexão especificando um “buraco” no espaço-tempo, sem matéria, circundado por regiões onde há objetos. Após isso, considera a construção de modelos unidos por difeomorfismo, ou seja, modelos que diferem sem alterar as relações entre suas partes. Tais modelos, se e somente se, satisfazem a teoria, são igualmente válidos. Segundo Ray, o indeterminismo na GR ocorre não por razões relativas à covariância, mas sim graças à admissão realista sobre a existência de pontos no espaço-tempo (Ray, 1993: 199). E é isso que precisamos ter sublinhado para entender o argumento, cuja explicação se dá a seguir.

Tomemos novamente a questão (S). Responder “não” a essa questão é a única resposta consistente com o realismo sobre pontos no espaço-tempo. Todavia, qualquer reposta que negue haver uma única situação física a ser representada por modelos falha para a equivalência de Leibniz e, pela mesma razão, falha para o determinismo. Mas por que o substantivista tem de responder “não” à questão (S)? Seu realismo o obriga a dizer que, após uma transformação coordenativa, não temos a mesma situação física representada, muito embora as relações sejam preservadas. Após uma transformação coordenativa, temos diferentes modelos para o mesmo espaço-tempo local, os quais não têm os mesmos objetos a ocuparem os mesmos pontos no espaço-tempo. Note-se que o relacionista poderia dizer: se tudo o que existe são relações, então os diferentes modelos representam a mesma situação física, uma vez que preservam todas as relações. A consequência direta do modo de pensar tipicamente substantivista é a falha para a equivalência de Leibniz, e sua consequência indireta é o indeterminismo nas teorias.

Então podemos definir o *hole argument* como um argumento que desafia o substantivismo segundo a dialética a seguir: o compromisso com a existência de pontos no espaço-tempo e o caráter covariante da GR nos compromete com o indeterminismo. Mas o indeterminismo é um preço demasiado alto a se pagar pela adoção de uma doutrina metafísica. Sendo assim, o relacionismo é uma doutrina preferível. Em verdade, o argumento de Earman-Norton põe-nos dois dilemas:

Dilema da indistinguibilidade:

- a) Aceitar que há distintos estados de relações que, apesar de distintos, são indistinguíveis observacionalmente; ou:
- b) Abandonar o substantivismo.

Dilema indeterminista:

- a) Aceitar que há um indeterminismo radical nas teorias, ou;
- b) Abandonar o substantivismo.

Ambos os dilemas mostram ser preferível abandonar uma opção filosófica do que ter essas consequências para uma teoria como a GR. Essa conclusão passa pelo seguinte raciocínio: há certas razões que não são admissíveis, se a sua consequência é o indeterminismo. Isso somente significa que há razões aceitáveis para o indeterminismo, e uma proposta eminentemente filosófica sobre espaço e tempo não é uma dessas razões. Por fim, para cumprir com a meta de apresentar o *hole argument* como uma herança leibniziana, é importante ressaltar que o dilema verificacionista encontra apoio em P2; o dilema do determinismo encontra apoio em P1. O indeterminismo é consistente com o princípio de razão suficiente? Não seria necessário assumir que o princípio reclama uma razão pela qual o futuro seja *x* e não *y* e, em tese, o conhecimento dessa razão seja suficiente para a previsão de *x*? Isso demonstra que o *hole argument* tem uma herança leibniziana indiscutível.

4 A teoria da relatividade cumpre as exigências relacionistas?

Relacionistas como Reichenbach depositaram grande esperança de que a teoria da relatividade, nossa melhor teoria do espaço e do tempo, realizasse o programa relacionista. O próprio Einstein manifestou, em determinadas ocasiões, o desejo de que a teoria incorporasse o princípio de Mach (Einstein, 1982: 29). Nesta seção, ocupar-me-ei de apresentar alguns supostos fatos que, por razão de sua não adequação a pressupostos antimetafísicos, acabam por viabilizar uma interpretação substantivista. A primeira coisa a dizer é que a GR não tem compromisso fundamental com uma ontologia relacional. O sentido de compromisso ontológico é quineano i.e., uma teoria tem compromisso ontológico no caso de haver, para uma entidade implícita ou explicitamente admitida, uma razão de necessidade tal que a teoria não pode ser verdadeira sem essa entidade (Quine 1969: 93). Se tal compromisso existisse, a GR teria de ser repensada, caso não se verificasse uma redução de todos os fenômenos espaço-temporais a alguma relação entre partes. A redução seria uma expectativa fundamental, tão fundamental quanto o são expectativas concretas para a teoria enquanto teoria da gravitação, i.e., a existência de “ondas” gravitacionais, “a curvatura” no espaço-tempo, etc.

Friedman discutiu a empolgação inicial dos relacionistas pelas teorias da relatividade. Segundo esse autor, um engano comum se passa com os sentidos que a palavra “absoluto” pode assumir, no contexto das teorias. Há três sentidos sugeridos pelo autor: 1) Espaço e tempo enquanto independentes de objetos e eventos (independência); 2) Espaço e tempo enquanto possuidores de propriedades invariáveis: topologia, métrica, intervalos de tempo e espaço, quantidades absolutas, etc. (invariabilidade); 3) Espaço e tempo como elementos inelimináveis na explicação do movimento, como estruturas a que se reportam as suas leis, i.e., como o espaço absoluto no argumento dinâmico dos *Principia* (ineliminabilidade). Friedman conclui que, ainda que ficasse demonstrado que o espaço e o tempo não são absolutos no que diz respeito à independência, disso não se seguiria que podemos prescindir de “absolutos” em geral. A relação entre independência, invariância e ineliminabilidade não

permite abandonar, caso algum tenha de o ser, todo e qualquer sentido de absoluto (Friedman, 1983: 65).

Para o sucesso de teorias, nosso vocabulário e recursos ficam enriquecidos com o papel desempenhado pelos conceitos de espaço e tempo. Assim, espaço e tempo deixam de ser extravagâncias teóricas e tornam-se conceitos unificadores, i.e., não são apenas elementos de discurso (ou ficções úteis), mas sim apostas filosóficas dotadas de importância, verdadeiros “tijolos básicos” (Ray, 1993: 166). Como Jammer procurou mostrar, muitos se empenharam em recusar a estratégia de declarar o substantivismo uma tese não significativa. Alguns desses autores são relacionistas conhecidos, o que não os impediu de ter a percepção correta acerca da significatividade de teorias. São eles, entre outros, Stein, Nerlich, Sklar, Field e Friedman (Jammer, 2010: 276).

A introdução de conceitos metafísicos como espaço e tempo ocorre por razões adicionais àquelas apresentadas nos *Principia*. Alguns exemplos são entidades teóricas que, se admitidas, dotariam o substantivismo de indicadores importantes. Segundo Ray, embora haja entidades teóricas redutíveis, há pelo menos uma irreduzível, a saber, um buraco topológico (Ray, 1993: 286). Há muitas dúvidas sobre a admissão de entidades teóricas. A lista de entidades valiosas pode incluir coisas como o éter, o vácuo quântico e as chamadas propriedades físicas do espaço. Sobre o éter, A SR teve a vantagem de se dissociar do problema, confirmando em razões o resultado nulo dos experimentos de Michelson-Morley (1887). Todavia, Einstein chegou mesmo a reivindicar, para a consecução da GR, o éter, que seria identificado com o espaço-tempo dotado de propriedades físicas reais (Cassini e Levinas, 2005: 568).

Como se vê, o substantivismo tem características relevantes que são exteriores aos *Principia*. Entretanto, quando falamos em razões pós-Newton, não é porque todos se convenceram de que não há mais razões newtonianas a competir. Não é assim tão ausente de dúvida que a descrição do movimento possa dispensar o espaço absoluto. Uma teoria como a GR só deve dispensar conceitos absolutos (ou os conceitos de espaço e tempo em um sentido absoluto) caso não possamos expressá-la sem recurso a algo material. O que existe de concreto, para além de debates cada vez mais sutis, é a esperança de que a teoria venha um dia a ser expressa de forma adequada (Ray, 1993: 189).

5 Resposta aos desafios machianos

Se não ficar demonstrado que é possível implementar o princípio de Mach, tornar-se-á difícil aceitar a redução do espaço-tempo a fenômenos materiais. Podemos citar dois problemas principais com as tentativas machianas: a) a problemática exemplificação do princípio de Mach, no contexto da GR; b) uma série de consequências da abordagem machiana, também até hoje não perfeitamente cumpridas. Expectativas machianas foram reconhecidas pelo próprio Einstein em 1922, mas diversos autores mostraram que sua exemplificação não se deu, pelo menos não de maneira exemplar: Brans (1962); Reinhardt (1973) e Thirring (1921).

Em primeiro lugar, é preciso admitir que nem na mecânica newtoniana seria possível, de imediato, o acréscimo do princípio de Mach. A física newtoniana exigia que certas condições de contorno fossem satisfeitas, e a relatividade não admite ação à distância. Isso gerava certos problemas a serem pensados por quem desejasse a incorporação do princípio. Segundo Grünbaum, as condições de contorno são elementos newtonianos na física contemporânea, assumindo o papel do espaço-tempo absoluto (Grünbaum, 1957: 527-528). Em um pequeno texto, intitulado “Princípios concernentes à relatividade geral” (Einstein, 1918), Einstein discutiu a síntese que optava por fazer entre geometria riemanniana e princípio de Mach. O autor sabia que suas equações não satisfaziam o princípio de Mach. Então, com a finalidade de que pudessem satisfazê-lo (se associamos isso às razões empíricas que em sua época favoreciam a interpretação das equações de campo para um Universo estático e finito), introduziu nas equações uma constante com a qual esperava eliminar essa incompatibilidade. A mesma só podia ser eliminada por um modelo que não precisasse de condições de contorno satisfeitas, e tal modelo tornou-se estável quando a constante foi introduzida. Mas o trabalho do holandês Willem de Sitter (1917)

mostrou que havia uma solução possível para as equações modificadas em que se admitia uma estrutura de espaço-tempo, mesmo na ausência de matéria.

Por essas razões, torna-se claro que, quando falamos em teorias da relatividade, há alguma concordância entre os estudiosos com respeito à manutenção de elementos absolutos em seu interior, o que em princípio não favorece adotar uma ontologia puramente relacional (Assis e Pessoa, 2001: 184).

6 Resposta aos desafios leibnizianos

O mais importante é mostrar que os dilemas levantados por Leibniz não comprometem o substantivismo. Segundo Earman e Norton, o substantivismo tornaria a GR indeterminista e, por isso, é indesejável. Se puder ser mostrado que o substantivismo não tem esse ônus, talvez se consiga torná-lo compatível com requisitos leibnizianos. Responder ao *hole argument* tornou-se possível com dois trabalhos recentes: o essencialismo métrico de Maudlin e o uso das doutrinas lewisianas (1986) por Butterfield (1988, 1989). Neste artigo, para não me alongar muito, vou tratar apenas da solução que empreendeu o primeiro destes autores.

Maudlin pensa as relações métricas como dotadas de certa essencialidade. Isso significa que para individualizar pontos no espaço-tempo, todas as relações métricas são importantes. O que aconteceria se ao desafio leibniziano de Earman-Norton for imposta alguma condição de essencialidade? E se especificar um ponto no espaço-tempo for especificá-lo, necessariamente, com todas as relações atuais? O desafio de Leibniz continua a fazer algum sentido? Maudlin argumenta atribuindo ao essencialismo a autoridade de Newton, embora seja discutível que haja realmente um essencialismo em algum autor clássico (Maudlin, 1988: 86). Ele sustenta haver, pelo menos, indícios importantes de essencialismo, como quando Newton apresenta o *scholium* sobre espaço e tempo, nos *Principia*, ou ainda em *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* (1662: 166). Nestas ocasiões, especialmente no *De Gravitatione*, Newton relata que partes do tempo e do espaço têm as relações mútuas atuais como critério de individualização, i.e., cada ponto está relacionado com todo o espaço e todo o tempo, e essas relações são invioláveis. Maudlin reconhece que o suposto essencialismo newtoniano precisaria ser traduzido para a linguagem tetradimensional da GR, mas sustenta que a tradução não impõe assim tantas dificuldades (1988: 86).

O essencialismo de Maudlin resulta no seguinte: como todas as relações métricas são invioláveis, graças à condição que é própria ao essencialismo, há apenas um mundo fisicamente possível e, nesse mundo, a especificação de pontos reais no espaço-tempo contempla todas as relações relevantes (as coordenativas) enquanto essenciais. Em verdade, os modelos construídos por difeomorfismo não são representações de mundos fisicamente possíveis. O dilema resultante do *hole argument* está em usar nomes de pontos matemáticos como se fossem nomes de pontos no espaço-tempo, sem o devido cuidado com o caráter essencial das relações que pontos no espaço-tempo têm. Ou pontos matemáticos não têm correspondência com pontos reais no espaço-tempo, ou precisam contemplar o essencialismo.

Mas é o essencialismo compatível com o caráter covariante das equações da GR? A resposta passa por dizer que a covariância é uma característica própria do formalismo da teoria, sem consequências para a ontologia do espaço-tempo. O sentido no qual a métrica do espaço-tempo é dinâmica não implica em aceitar que os eventos localizados no espaço-tempo mudam ou poderiam mudar (como no dilema leibniziano acerca do melhor instante para a criação do Mundo). É preciso aceitar apenas que há certa dependência nomológica das propriedades métricas relativamente à distribuição da matéria e condições de contorno (Maudlin, 1988: 8). Isso apenas significa que um uso possível para a covariância é a construção de uma “diversidade de espaços-tempo”. Mas os mesmos seriam apenas modelos teóricos, algo como ficções matemáticas que não se traduzem em possibilidades reais para o nosso mundo. Embora haja muitos modelos matemáticos a serem construídos para espaços-tempo hipotéticos, nenhum deles se torna um desafio indeterminista, pois nenhum representa uma indefinição relativamente ao nosso mundo. Tampouco há qualquer dilema verificacionista, uma vez que pontos

reais no espaço-tempo podem, *prima facie*, ser diferenciados quando da construção de modelos hipotéticos.

7 Um argumento pelo substantivismo

O argumento abaixo não se pretende nenhuma prova do substantivismo. Apesar de favorável a essa doutrina, trata-se antes de uma blindagem do mesmo, sobretudo quando confrontado com supostas vantagens relacionistas. Essas vantagens não se confirmam, caso o argumento esteja bem esclarecido:

- a) Não se deve exigir da ontologia filosófica alguma restrição que não se observa para o desenvolvimento e aceitação de uma teoria científica;
- b) Exigências antimetafísicas não são exemplarmente cumpridas (ou mesmo observadas) pelas teorias da relatividade;

Logo: não se pode exigir do filósofo a adoção do relacionismo pela observância de princípios cuja motivação é anti-metafísica.

Há uma razão pela qual a premissa *b* acima pôde ser incluída: uma teoria como a GR teria dificuldades de se acomodar a rigorosas concepções anti-metafísicas e permanecer, ainda assim, explicativa e preditiva. Não foi por falta de esforços que Einstein não se tornou um machiano bem sucedido. Afinal, não está esclarecido se o nosso mundo comporta as eliminações que justificariam a substituição de conceitos absolutos por conceitos relativos, das quais o machianismo parece depender. Caso aceitemos que a GR quantifica ou torna possível quantificar sobre pontos no espaço-tempo (Butterfield, 1989: 2), o substantivismo poderá se tornar a opção desejável, principalmente por adeptos do realismo científico (em suas muitas versões). O substantivismo estaria na condição própria de quem aceita o realismo e, ao mesmo tempo, aceita a GR. É o que fica claro no trabalho de Maudlin, o qual argumenta pela conjunção do realismo com a GR (Maudlin, 1990: 561). Maudlin parece adotar uma postura intransigente, quando se trata de pensar o que é consequente com o realismo. Ele rejeita que o realista possa aceitar o relacionismo e a GR. Apesar disso, com a sutileza que vêm ganhando os argumentos, não é totalmente claro que o substantivismo é a única opção para o realista que aceita a GR, algo de que depende a postura assumida por Maudlin.

Se correto, o argumento acima mostra que as motivações que inspiram o relacionismo não são uma preocupação capaz de limitar o trabalho do cientista. Assim sendo, tampouco deveria o filósofo adotar esse padrão de “rigor”, mesmo quando ignorado ou descumprido pelo cientista. Se queremos a nossa ontologia do espaço-tempo concordante com a nossa melhor teoria, por que deveríamos nos comprometer com limites que o próprio cientista descumpre, sempre que preciso? Se somamos isso ao fato de que os desafios que o relacionista impõe ao substantivista não são invencíveis, temos tudo de que precisamos para continuar a professar nossa crença realista no espaço-tempo. O substantivismo é ainda uma boa opção teórica, mesmo que o debate não tenha ainda vencedor definitivo.

Referencias Bibliográficas

ASSIS, Andre. T. K (1998). *Mecânica Relacional*, Campinas, SP, volume 22. CLE.

ASSIS, Andre. T. K. e PESSOA, Junior, O. (2001). *Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 3, v. 11, n. 2, p. 131-52.

BERKELEY, George (1980). *Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano*, In Victor Cívica, editor, Volume Berkeley e Hume da Coleção Os Pensadores, (Original de 1710).

BRANS, Carl. H. (1962). “Mach’s principle and the locally gravitational constant in general relativity”, *Physical Review*, 125, pp. 388-396.

BUENO, Otávio (1999). *O empirismo construtivo: uma reformulação e defesa*, Campinas, SP, volume 25. CLE.

BUTTERFIELD, Jeremy (1988). “Albert Einstein meets David Lewis”, *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, *Symposia and Invited Papers*, pp. 95-81.

BUTTERFIELD, Jeremy (1989). “The hole truth”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 40, pp. 1-28.

CASSINI, Alejandro, e LEVINAS, Leonardo. (2005). “La interpretación radical del experimento de michelson-morley por la relatividad especial”, *Scientia Studia*, 3, n. 4, pp. 547-581.

DAVID, Lewis, K. (1986). *On the Plurality of Worlds*, Blackwell Publishers.

EARMAN, John, and Norton, John, D. (1987). “What price spacetime substantivalism? the hole story”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 38(4), pp. 515–525.

EINSTEIN, Albert (1918). “Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie, *Annalen der Physik*”. pp. 241-244.

EINSTEIN, Albert (1982). “*Notas Autobiográficas*”. 3a ed. Trad. de A.S. Rodrigues. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

FRIEDMAN, Michael (1983). *Foundation of Space-Time Theories, Princeton, Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton University Press.

GARDNER, Michael, R. (1977). “Relationism and relativity”, *The British Journal for Philosophy of Science*, 28 pp. 215-233.

GRÜNBAUM, Adolf (1957). “The philosophical retention of absolute space in einstein’s general theory of relativity”, *Philosophical Review*, 66(4), pp. 525–534.

GRÜNBAUM, Adolf (1963). *Philosophical Problems of Space and Time*, New York: Alfred A. Knopf, Inc.

HORWICH, Paul (1978). “On the existence of time, space and space-time”, *Nôus*, 12, No. 4, pp. 397-419.

HUME, David (2000). *A Treatise of Human Nature*, Oxford, Oxford University Press, USA, (Original de 1739-40).

JAMMER, Max (2010), *Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física*, Rio de Janeiro, Contraponto, (Original de 1954).

JOHNSON, Willian. E. (1924), *Logic (cap. 7, Parte, 3: The Logical Foudations of Science)*, Cambridge, Cambridge University Press. p.79.

LEIBNIZ, Gottfried, W. (1983). *Correspondência com Clarke*, Coleção os Pensadores, São Paulo, Victor Civita.

MACH, Ernst (1960). *The Science of Mechanics - A Critical and Historical Account of Its Development*, Open Court, La Salle, (Original de 1883).

MAUDLIN, Tim (1988). “The essence of space-time”, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1988, pp. 82–91.

- MAUDLIN, Tim (1990). “Substances and space-time: What Aristotle would have said to Einstein”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 21(4), pp. 531–61.
- MICHELSON, Albert, A. e MORLEY, Edward, W. (1887). “The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether”, *American Journal of Science*, 34 (203), pp. 333–345.
- NEWTON, Isaac (1962). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, A. Rupert Hall and Marie Boas Hall (eds.), Cambridge: Cambridge University Press.
- NEWTON, Isaac (1990). *Principia: princípios matemáticos de filosofia natural*, Trad. Trieste Ricci. São Paulo: Ed. Nova Stella e Universidade de São Paulo.
- NORTON, John, D. (2015). “The Hole Argument”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.),
- URL, <http://plato.stanford.edu/archives/fall2015/entries/spacetime-holearg>. Visto em 29\03\2016.
- QUINE, Willard, V. O. (1969). *Ontological Relativity & Other Essays*, New York: Columbia University Press.
- REICHENBACH, Hans (1928). *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, Berlin, Walter de Gruyter.
- RYNASIEWICZ, Robert (2014). “Newton's Views on Space, Time, and Motion”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.),
- <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-stm>, visto em 29\03\2016.
- de SITTER, Willem (1917). “On the relativity of inertia: Remarks concerning Einstein's latest hypothesis”, *Proc. Kon. Ned. Acad. Wet.* 19, pp. 1217–1225.
- SKLAR, Larwence (1974). *Space, Time, and Spacetime*, University of California Press, Berkeley.
- RAY, Chistopher (1993). *Tempo, Espaço e Filosofia*, Papirus, Campinas, SP, (Original de 1991).
- REINHARDT, Michael (1973). “Mach’s principle – a critical review”, *Zeitschrittefur Naturforschung A*, 28, pp. 529–537.
- THIRRING, Hans (1921). “Berichtigung zu meiner arbeit: Über die wirkung rotieren- der ferner massen in der einsteinschen gravitationstheorie”, *Physikalische Zeitschrift*, 22, pp. 29–30.