



# A primazia das relações sobre as essências: as forças como entidades matemáticas nos *Principia* de Newton

Eduardo SALLES DE OLIVEIRA BARRA



## RESUMO

Os *Principia* de Newton pressupõem uma filosofia da matemática, em particular, uma ontologia dos objetos matemáticos. Mas, para que isso seja relevante, deve de algum modo ter consequências para a compreensão das advertências de Newton sobre a sua consideração matemática das forças referidas nos primeiros teoremas dos *Principia*. O artigo procura mostrar que essas advertências, ao contrário do que podem sugerir, não esvaziam a matemática – e as forças consideradas matematicamente – de qualquer compromisso ontológico. Elas estão estruturadas em uma certa ontologia de caráter não-aristotélico em que as relações têm primazia sobre as essências. Essa ontologia tem nítidos antecedentes naquilo que Marion chamou de *ontologia cinzenta* de Descartes.

PALAVRAS-CHAVE • Newtonianismo. Gravitação universal. Objetos matemáticos. Ontologia da natureza. Cartesianoismo.

As ciências matemáticas lidam com as relações entre as quantidades e com todas as suas afecções susceptíveis à regra ou à medida. [...] Nessas ciências, investigamos as relações das coisas, ao invés de suas essências internas. A razão disso é que podemos conceber claramente o fundamento de uma relação sem ter uma idéia perfeita ou adequada das coisas a que ela pertence; a isso, em certa medida, deve-se o caráter probatório peculiar das matemáticas. Não é necessário que os objetos das partes especulativas sejam descritos como verdadeiramente são ou que existam fora da mente, mas é essencial que suas relações sejam claramente concebidas e deduzidas por meio de prova (Maclaurin, 1801 [1742], v. 1, p. 51-2).

## INTRODUÇÃO

Ninguém contesta que a matemática ocupa um lugar singular nos pensamentos de Newton. O fato de ela figurar no título da sua principal obra – *Philosophiae naturalis principia mathematica*, publicada em 1687 – explica por que Newton passou desde então a ser lembrado não apenas pela sua extraordinária técnica e intuição matemáticas, mas também pelas particularidades que ele lhe conferiu. Que a matemática pudesse ser de algum auxílio aos exercícios teóricos da filosofia natural era algo que muitos outros àquela altura da revolução científica do século XVII poderiam aceitar e propor com grande desenvoltura. Todavia, Newton fizera mais do que isso, ao pressupor que nada menos que os próprios princípios da filosofia natural poderiam ser, eles mesmos, matemáticos. Aliás, o uso do adjetivo “matemático” é o aspecto que mais chama a atenção quando se compara o título da obra de Newton com a de seu mais evidente interlocutor e antagonista, René Descartes, cujos *Principia philosophiae*, de 1644, foram para Newton fonte de grande inspiração nos seus anos de formação em Cambridge, antes de tornarem-se seu alvo preferencial, após a década de 1670.

O objetivo deste artigo é sustentar que a matemática desempenha um papel singular na estruturação conceitual e metafísica dos *Principia* de Newton. Para evitar que isso soe como uma obviedade, é importante deixar claro que desejo deter-me em um aspecto ou num problema que transcende – embora pressuponha – as práticas matemáticas mais ordinárias (tais como idealizações, cálculos, quantificações, axiomatização, demonstrações e deduções diversas), que constituem a parte mais visível e comemorada dos *Principia*. Meu objetivo é reconstruir algo que poderia ser identificado como a *filosofia* da matemática dos *Principia*, sob um aspecto pouco explorado pelos intérpretes newtonianos: a ontologia dos objetos matemáticos.

A minha primeira e mais importante pressuposição será, portanto, que há uma ontologia dos objetos matemáticos implícita nos *Principia* de Newton. Devo, antes de tudo, dizer que emprego aqui o termo “ontologia” no sentido de uma teoria ou uma especulação sistemática sobre a natureza dos objetos. Esse exercício teórico ou especulativo resulta frequentemente na demarcação de domínios ou tipos de objetos (concretos e abstratos, existentes e inexistentes, reais e ideais, independentes e dependentes) e no estabelecimento de categorias para tudo que se possa deles predicar, notadamente para propriedades, relações, modalidades e dependências. Os critérios para decidir sobre o que conta ou não como um exemplar de um tipo particular de objeto podem surgir das mais variadas fontes. O caso mais típico é o dos critérios derivados da metafísica, entendida aqui como uma doutrina ou uma especulação sistemática sobre as realidades mais fundamentais ou sobre os fundamentos do real. Nesse sentido, ao longo deste texto, empregarei os termos “ontologia” e “metafísica”, em muitas

ocasiões, como coextensivos, embora jamais os assuma como exatamente sinônimos. Meu objeto de análise será, sob muitos aspectos, uma teoria matemática, que eu concebo, seguindo a sugestiva proposta de Panza, “como uma estrutura formada por um conjunto de objetos (o domínio da teoria) e uma família de regras de inferência, definidas para esses objetos e capazes de conduzir da postulação dos objetos a suas propriedades e relações” (Panza, 2002, p. ix). Minha atenção estará voltada, obviamente, para o primeiro dos dois ingredientes de uma teoria matemática: o conjunto de objetos ou o domínio da teoria.

Uma última importante advertência preliminar: a teoria que analisarei a seguir não é exclusivamente uma teoria matemática. Ela postula objetos e executa padrões de inferência tipicamente matemáticos; mas os *Principia*, desde o seu título, assumem a matemática como uma mediação para alcançar objetivos bem mais ambiciosos na filosofia natural. No prefácio da primeira edição, Newton observa que pretende ali “cultivar a matemática na medida em que ela se relaciona à filosofia natural” (Newton, 1999 [1687], p. 382). Portanto, uma ontologia dos objetos matemáticos que seja realmente relevante para a estrutura conceitual e semântica sobre a qual Newton ergue os *Principia*, deverá também estar refletida nesses objetivos mais ambiciosos. Para colocar o problema ontológico tal como eu gostaria de enfocá-lo na filosofia natural newtoniana, vou servir-me inicialmente de algumas considerações de Ernest McMullin (1978), as quais são relativas à fundamentação conceitual da teoria da gravitação universal, em particular aos embaraços acarretados pela necessidade de associar um princípio de atividade à matéria inerte:

Pode a matéria ser considerada ativa a partir da sua própria natureza? Poder-se-ia supor que o princípio de gravitação universal, a partir do qual obviamente decorre o sucesso dos *Principia*, levaria Newton a dar uma sonora resposta afirmativa a essa questão ou, de uma outra maneira, que a sua crença na função inerentemente ativa da matéria havia auxiliado na obtenção da noção de gravitação. Mas, de fato, o oposto parece ter sido o caso. [...] Ele [Newton] parece dizer que, se alguma coisa possui dentro de si uma fonte de atividade, tal coisa não pode ser *exatamente* a matéria; deve haver algum outro princípio, algum “princípio ativo”, distinto (embora não necessariamente separado fisicamente) da matéria envolvida. [...] Newton viu-se forçado a buscar fora da matéria a fonte do movimento, e isso – talvez mais do que qualquer outro fator – foi o que conferiu tamanha complexidade à sua ontologia (McMullin, 1978, p. 29).

Dois pontos merecem especial destaque nessas palavras de McMullin. Em primeiro lugar, o fato de Newton recusar que a matéria pudesse ser essencialmente ativa.

Em segundo lugar, o corolário desse fato, isto é, a complexidade que a busca por um princípio ativo, disposto fora da matéria, conferiu à sua ontologia.

Transpondo esse segundo ponto para o contexto da filosofia da matemática implícita aos *Principia*, tenho o quadro completo para enfim enunciar a hipótese que permeará toda a minha presente discussão: a mesma complexidade que a busca de um princípio ativo putativamente imaterial conferiu à ontologia da natureza newtoniana verifica-se na sua ontologia conexa dos objetos matemáticos, virtualmente pela mesma razão, qual seja, a sua recusa de embutir um princípio ativo na matéria inerte. Da minha hipótese decorre então que a chave para compreender a ontologia newtoniana da matemática é a complexidade, originariamente surgida em meio aos problemas da filosofia natural e disseminados às demais disciplinas conexas. Para sustentar essa tese da complexidade, procurarei, ao longo deste artigo, reconstruir a ontologia newtoniana com o intuito de identificar duas tendências contrárias no modo de interpretar a atribuição de uma natureza matemática a determinados objetos ou propriedades de objetos. Tomarei dois casos exemplares, o espaço e o tempo absolutos e as forças centrais atrativas, conforme ambos ocorrem no primeiro livro dos *Principia*. Procurarei mostrar que, ao atribuir igualmente a ambos uma natureza matemática, Newton pretende significar coisas aparentemente incongruentes, que foram tradicionalmente identificadas *grosso modo* com o realismo (para o caso do espaço e o tempo absolutos) e com o formalismo matemático (para o caso das forças centrais atrativas).

Mas para que a suposta complexidade não degenerem em mera inconsistência ou incoerência, será preciso mostrar adicionalmente que os *Principia* exibem bem mais do que uma desajeitada tentativa de justapor duas concepções ontológicas antagônicas e irreduzíveis (o realismo e o formalismo). Para promover a consistência e reconciliar as concepções que inspiram a ontologia newtoniana, defenderei que a opção correta é enfatizar o realismo e dispensar o formalismo como uma mera aparência inicial. Procurarei mostrar que a aparente adesão inicial de Newton ao formalismo matemático contém importantes similaridades com um outro programa de erigir uma ontologia ajustada às particularidades dos objetos matemáticos. Refiro-me ao programa cartesiano de edificar uma *mathesis universalis*, na interpretação que lhe foi dada por Marion (2002 [1975]), com destaque para a noção de uma certa “ontologia cinzenta”. Esse último ponto é de especial interesse, visto que poderia revelar similaridades entre os programas cartesiano e newtoniano de matematização, apresentando uma alternativa ao modo tradicional de encará-los como indiscriminadamente antagônicos e concorrentes.<sup>1</sup> Tais supostas similaridades, entretanto, ainda que possam restituir a

<sup>1</sup> Pode parecer contraintuitivo buscar no universo hermenêutico da obra de Descartes um recurso interpretativo (o conceito de ontologia cinzenta) para analisar as idéias de Newton, dada a enorme distância que separa os universos doutrinários desses dois autores. Conforme foi sugerido por Antônio Augusto Videira, um complemento futuro

coerência e a inteligibilidade da ontologia newtoniana, não a podem livrar das tensões decorrentes da sua complexidade. Por isso mesmo, será indispensável zelar por uma leitura que preserve essa complexidade e resista à pretensão de conferir-lhe uma concepção unificada da ontologia tanto da natureza quanto da matemática.

## 1 OS OBJETOS MATEMÁTICOS ABSOLUTOS: ESPAÇO E TEMPO

Uma tarefa preliminar ao enfrentamento direto dos meus objetivos mais ambiciosos é estabelecer, de modo bastante preciso, o que se deve entender aqui por *realismo* e *formalismo* para que se faça visível a complexidade da ontologia newtoniana da matemática. O desafio é, nesse aspecto preliminar, apresentá-los como pontos de vista mutuamente excludentes e antagônicos sobre a natureza dos objetos matemáticos. O núcleo da divergência são as respostas dadas ao problema da realidade dos objetos matemáticos. Enquanto o realismo atribui realidade a esses objetos, o formalismo a nega. O realismo matemático tem a sua expressão mais acabada no platonismo, que é a posição segundo a qual os objetos matemáticos existem independentemente das possibilidades cognitivas humanas destinadas a representá-los e a decidir sobre suas verdadeiras propriedades e relações. A filosofia da matemática platônica tornou-se célebre por defender que os objetos matemáticos são eternos, imutáveis e sem qualquer interação causal com os demais objetos físicos. Nem toda modalidade de realismo matemático, entretanto, deve ser identificada ao platonismo – embora, este último seja única e exclusivamente realista. Determinados problemas que assolam o platonismo nem sempre representam qualquer ameaça a outras formas de realismo. Um caso notório dessa assimetria entre platonismo e realismo é o problema de explicar a aplicabilidade da matemática aos problemas e teorias das ciências empíricas da natureza. Os realistas platônicos pressupõem tipicamente um mundo bifurcado, composto por dois domínios distintos e mutuamente irreduzíveis de objetos, abstratos e concretos, inteligíveis e sensíveis, estáveis e mutáveis. Por mais auspiciosa que possa parecer essa forma de pensar a natureza dos objetos matemáticos, sobretudo quando se trata de explicar as fontes da necessidade e da aprioridade atribuídas às proposições matemáticas, ela coloca dificuldades quase intransponíveis para o platonismo quando desafiado a explicar a evidente aplicabilidade da matemática às teorias e às práticas estruturadas sobre um domínio de objetos das ciências naturais – por definição, objetos concretos, sensíveis e mutáveis.

deste trabalho poderia ser o de encontrar no próprio *corpus* newtoniano ou dos autores mais próximos dele (digamos, Locke, Boyle ou mesmo More) categorias ontológicas que permitissem lançar novas luzes sobre as idéias de Newton que serão aqui analisadas.

Tudo indica que, qualquer que possa ser o realismo que associemos às pretensões de Newton sobre os objetos matemáticos, dificilmente ele guardaria uma semelhança generalizada com o platonismo acima descrito. Invariavelmente, o realismo matemático newtoniano jamais deve impor qualquer obstáculo ao *desideratum* de aplicação dos princípios matemáticos à filosofia natural. Portanto, se há uma realidade que deve ser atribuída aos objetos matemáticos evocados por Newton, essa deve ser tão próxima quanto possível da realidade dos objetos da filosofia natural. Ora, entre os objetos da filosofia natural figuram também objetos empíricos. Tal proximidade ontológica não deve, pois, ser confundida com identidade. Por outro lado, o realismo matemático de Newton é tributário da tese da independência dos objetos matemáticos com respeito à mente capaz de representá-los ou cogitá-los. A independência deveria ser estendida à filosofia natural, cujos padrões epistemológicos ou ontológicos não devem do mesmo modo impor constrangimentos à natureza dos objetos matemáticos. Mas qual deve ser positivamente, para Newton, a natureza de tais objetos matemáticos, para que possam, a um só tempo, ser distinguidos substantivamente e manterem afinidades mútuas com os demais objetos da filosofia natural, notadamente os objetos empíricos? Infelizmente, conforme já antecipei, Newton não desce a esse nível de detalhes. Se viermos a encontrar uma resposta a tal pergunta que potencialmente o satisfizesse, ela será feita exclusivamente com base nas concepções implícitas em sua prática matemática e científica.

Mas há outras razões para concluir que o compromisso de Newton com o realismo matemático fosse bem mais direto e explícito. A minha presente discussão, conforme antecipei acima, destina-se a revelar na ontologia da matemática newtoniana a mesma complexidade identificada na sua ontologia da natureza. Para certos comentaristas, essa passagem seria trivial, pois Newton – assim eles diriam – não faz qualquer distinção substantiva entre ambas as ontologias, de tal modo que a filosofia natural e a matemática constituem sistemas teóricos coextensivos e solidários.<sup>2</sup> Essa tese encontra forte sustentação na doutrina newtoniana do espaço e do tempo absolutos. Aqui, é evidente que as pretensões de Newton quanto à realidade (e à necessidade) de um tempo e um espaço absolutos estavam apoiadas em sua irrestrita associação à realidade própria das entidades matemáticas. Foi exclusivamente desse último modo que os conceitos de espaço e tempo absolutos foram apresentados e justificados no escólio das definições no primeiro livro dos *Principia*, onde Newton apresenta sua doutrina absolutista da forma mais completa e argumentada, independentemente de qualquer outra sustentação teológica que ela viesse a receber alhures.

<sup>2</sup> Segundo Garrison, por exemplo, “para Newton, matemática e mecânica [que Garrison tampouco distingue essencialmente da filosofia natural] não se distinguem entre si” (Garrison, 1987, p. 618).

Newton confere ao espaço e ao tempo, em primeiro lugar, o caráter de substratos da existência de todas as coisas, sob o argumento de que “tudo existe no tempo enquanto ordem de sucessão, e tudo existe no espaço enquanto ordem de situação” e, por isso, “é da *essência das coisas* que os lugares primeiros [isto é, absolutos] existam” (Newton, 1999 [1687], p. 410; grifos meus). No *De gravitatione*, um manuscrito produzido por volta de 1670, Newton é ainda mais explícito sobre a inspiração aristotélica das categorias empregadas para descrever a sua metafísica do espaço e do tempo absoluto: o espaço (e o tempo) é “uma disposição do ser enquanto ser (*entis quatenus ens affectio*)”, razão pela qual se constitui no “efeito derivativo primário da existência do ser (*entis primario existentis effectus derivativus*), pois, ao postular algum ser, postula-se também para ele o espaço” (Newton, 1979, p. 74).

Mas, apesar de seu caráter transcendente, espaço e tempo não podem deixar de ser considerados como genuínas *quantidades*. E é justamente por tratar-se de um tal gênero de coisa, que se deve sempre distinguir, de um lado, o espaço e o tempo absolutos, verdadeiros e *matemáticos* e, de outro lado, aqueles relativos, aparentes e *vulgares*, pois “corrompem a matemática e a filosofia aqueles que confundem as verdadeiras quantidades com suas relações e medidas vulgares” (Newton, 1999 [1687], p. 414). Além de um padrão epistêmico para a sua evidência (verdadeiros e não meramente aparentes), o caráter matemático do espaço e do tempo absolutos permite preservá-los da vacuidade ontológica inerente a suas meras relações e medidas vulgares – recordemos que as doutrinas relacionistas do tempo e do espaço (Descartes e Leibniz, sobretudo) pretendiam justamente reduzi-los a simples fenômenos ou relações, sem qualquer vínculo ou correspondência substantiva no nível mais essencial do ser (cf. Barra, 2002, p. 199-205).

## 2 OS OBJETOS MATEMÁTICOS RELACIONAIS: AS FORÇAS

Uma nova ocasião, em que nos *Principia* de Newton matemática e filosofia natural são colocadas frente a frente, não parece, entretanto, corroborar a mesma continuidade entre ambas observada na doutrina do espaço e do tempo absolutos. Trata-se das observações feitas por Newton a propósito da realidade e da natureza das *forças*, sobretudo forças centrais atrativas, que são reiteradamente referidas e minuciosamente descritas em seus efeitos ao longo de todo o primeiro livro dos *Principia*, com objetivo de determinar as condições dinâmicas para um movimento circular segundo as leis de Kepler do movimento planetário. Desde o início dos *Principia*, os teoremas propostos e demonstrados por Newton pressupõem que a força *centrípeta*, exercida pelo corpo *S* (Sol) sobre *P* (planeta), atua como uma autêntica força de atração, e a sua ação, consi-

derando os seus possíveis correspondentes reais (Sol e planetas), parece propagar-se por vastas regiões preenchidas por uma matéria destituída de propriedades mecânicas ou mesmo por um imenso vazio. Da maneira como tais forças ocorrem nesse início da obra, pode-se suspeitar que Newton estivesse disposto a reabilitar as malfadadas doutrinas das qualidades ocultas inspiradas no aristotelismo escolástico tardio, impregnando os princípios ativos da natureza com as mais exóticas e polêmicas propriedades e relações: ações a distância, genuínos efeitos atrativos irredutíveis à mecânica dos choques etc.; em suma, uma miríade de entidades e propriedades virtualmente banidas da filosofia natural pela então triunfante filosofia mecanicista, amplamente inspirada na ontologia cartesiana da matéria e do movimento.<sup>3</sup>

Para evitar tais mal-entendidos, Newton teve o cuidado de advertir que considerava as supostas forças e suas incomuns propriedades de um modo apenas “matemático”. Nas palavras de Gandt, os teoremas iniciais do primeiro livro dos *Principia* “especificam as características fundamentais da força centrífuga e indicam de pronto que, dali em diante, essa força é uma entidade matemática” (Gandt, 1995, p. 272). E foi justamente esse fato que conferiu uma particular complexidade à sua ontologia. Com esse estratagema, a teoria matemática de Newton passa a incorporar tais forças como uma classe particular de objetos matemáticos que, ao contrário da classe de objetos cuja realidade absoluta decorre justamente da sua natureza matemática (espaço e tempo absolutos), dispensa, precisamente pela mesma razão, qualquer pretensão ou mesmo qualquer dúvida sobre a sua realidade. Em outras palavras, o adjetivo “matemático”, antes sinônimo das mais fundamentais e irredutíveis realidades, passa a ser sinônimo do seu oposto, isto é, da mais completa nulidade ou vacuidade ontológica.

Logo no início do primeiro livro dos *Principia*, Newton já se vê às voltas com os embaraços metafísicos criados pelo uso torrencial que faz de termos tais como “força”, “impulso” e “atração”. Como já antecipei, tudo leva a crer que, para escapar a tais dificuldades, a estratégia de Newton foi refugiar-se em uma posição firmemente formalista, insistindo que aqueles termos são termos *não interpretados* do seu sistema de mecânica racional, postulados apenas como quantidades hipotéticas ou abstratas. Assim, “força” e seus cognatos seriam nomes de meras entidades matemáticas, e o adjetivo “matemático” significaria aqui que – ao contrário do que ocorreu no caso do espaço e tempo absoluto – os nomes aos quais se ligam convertem-se em termos referencialmente vazios.

<sup>3</sup>As “regras dos choques” de Descartes foram estabelecidas como os únicos meios possíveis pelos quais ocorrem as mudanças na quantidade e na direção dos movimentos. Nenhum outro meio jamais tornaria tais acontecimentos inteligíveis, pois somente essas “regras” baseiam-se nos modos da extensão, isto é, no tamanho, na superfície e na velocidade dos corpos e nas diversas maneiras como colidem entre si (cf. Descartes, 1989, parte 2, § 46-52). Portanto, a ontologia cartesiana do movimento e da matéria mostrava-se irredutivelmente refratária a qualquer tipo de “atração” cujos efeitos mecânicos prescindissem do contato mútuo entre os corpos e fossem exercidos como uma autêntica “ação a distância”.

A suspeita de que, nesse contexto, “matemático” seja sinônimo de vacuidade ontológica ou referencial é reforçada por inúmeras evidências textuais. Com efeito, todo o primeiro livro (bem como todo o segundo) dos *Principia* pode ser considerado um tratado de mecânica racional, e mecânica racional, como Newton a define no prefácio da primeira edição, é a “ciência, expressa em proposições e demonstrações exatas, dos movimentos que resultam de quaisquer forças e das forças requeridas para gerar quaisquer movimentos” (Newton, 1999 [1687], p. 382). Isso dá a Newton o direito de supor ou postular “quaisquer forças”, bem como “quaisquer movimentos”, visto que a exatidão requerida nessa ciência é apenas formal ou demonstrativa e não material ou experimental. Assim, não se trata de apenas poder variar arbitrariamente as quantidades das forças e dos movimentos considerados. Em particular no caso das forças, o enfoque formalista supostamente pretendido por Newton deveria permitir também *abstrair* a própria natureza do modo pelo qual essas forças produzem os seus efeitos ou se relacionam com o mundo material e empírico. Em outras palavras, o adjetivo “matemático” valeria como um salvo-conduto para que, em meio às proposições e demonstrações rigorosas das correlações entre forças e movimentos quaisquer, Newton não se visse paralisado por iminentes embaraços metafísicos.

Mas as principais evidências textuais surgem nas próprias passagens dos *Principia* em que Newton, ao que tudo indica, reivindica e defende uma tal concepção formalista da matemática. Vejamo-las mais de perto. A partir da segunda edição dos *Principia* (1713) – notadamente em resposta às primeiras críticas de Leibniz e Huygens, que incidiram nos mesmos pontos em que uma possível crítica de Descartes virtualmente incidiria – Newton inseriu as seguintes duas passagens ao primeiro livro dos *Principia*, que logo se tornaram célebres; a primeira:

(...) emprego alternada e indiscriminadamente palavras que significam atração, impulso ou qualquer espécie de propensão para o centro, considerando essas forças não do ponto de vista físico, mas do ponto de vista matemático. Portanto, acautele-se o leitor para não pensar que, quando afirmo que os centros atraem ou que possuem forças, defino por essas palavras qualquer espécie ou modo de ação ou ainda causa ou razão física, e atribuo verdadeira e fisicamente forças aos centros (que são pontos matemáticos) (Newton, 1999 [1687], p. 408).

E a segunda:

Tomo aqui a palavra “atração” de modo genérico para qualquer tendência dos corpos a aproximarem-se mutuamente. (...) E no mesmo sentido genérico utilizo o termo “impulso”, ocupando-me neste tratado não das espécies de forças e quali-

dades físicas, mas das quantidades e proporções matemáticas, como expliquei nas definições. (...) Na matemática, devem ser investigadas as quantidades das forças e as suas proporções que se seguem de quaisquer condições supostas. A seguir, quando descemos à física, essas proporções devem ser comparadas aos fenômenos, para que venhamos a conhecer quais condições das forças correspondem a cada uma das espécies de corpos atrativos (Newton, 1999 [1687], p. 588-9).

A orientação metodológica de promover a abstração das condições físicas com a finalidade de dedicar-se exclusivamente aos aspectos quantitativos está aqui enfatizada no seu grau máximo. Newton institui, assim, dois modos de considerar as forças atrativas centrais: modo matemático e o físico; uma duplicidade que de imediato parece corresponder aos usos atuais dos advérbios “formalmente” e “materialmente”. Esses dois modos do tratamento das forças também estão dispostos hierarquicamente, e o primeiro parece ser uma condição para o segundo, conferindo às condições das forças, assim consideradas, um lugar de destaque entre os próprios *princípios matemáticos* da filosofia natural.

Tomados por seu valor de face, sobretudo à luz da distinção contemporânea entre os aspectos formais e materiais dos problemas científicos, os pronunciamentos de Newton parecem razoáveis e merecem certo crédito como um relato fiel do seu modo de proceder na concepção e na estruturação da análise dos movimentos naturais. Todavia, quando confrontado a suas iguais pretensões de associar o caráter absoluto do tempo e do espaço à natureza eminentemente matemática de ambos enquanto quantidades, o significado de “matemático” como algo puramente formal e ontologicamente (ou referencialmente) vazio torna-se, no mínimo, paradoxal.

Um modo de desfazer esse paradoxo – indubitavelmente, um elemento estruturador da complexidade que permeia a ontologia newtoniana – seria estender a associação entre matemática e realidade absoluta também às forças centrais e atrativas invocadas nos teoremas iniciais dos *Principia*. Entretanto, além de contrariar a letra das advertências acima, essa compreensão das forças como entidades matemático-absolutas não encontra nenhum apoio nem mesmo quando, no início do terceiro livro dos *Principia*, Newton finalmente “desce à física” a fim de estabelecer um “sistema do mundo” baseado na gravitação universal – o exemplo fisicamente melhor caracterizado de uma força central atrativa. À altura do terceiro livro dos *Principia*, não se vê qualquer tentativa de conferir uma realidade absoluta a essa força particular em decorrência imediata de sua submissão anterior a um tratamento matemático rigoroso; ao contrário, o que salta aos olhos é a estratégia de Newton de associar o caráter relacional e não-absoluto dessa força à impossibilidade de conferir-lhe uma realidade substancial, como uma propriedade essencial da matéria.

Vejamos tudo isso expresso nas próprias palavras de Newton. Antes de tudo, é preciso enfatizar que, desde que alcançou, por volta de 1685, a formulação da teoria que finalmente apareceu publicada nos *Principia*, a convicção capital de Newton sempre foi a de “que a gravidade realmente existe” – conforme ele dirá anos mais tarde no célebre Escólio Geral dos *Principia*, acrescentado à segunda edição de 1713. Isso significa que Newton jamais cogitou a gravidade como uma hipótese ou algo cuja realidade não estivesse (ou não pudesse ser) bem estabelecida. Todavia, para sustentar uma convicção tão inabalável, ele não demonstra possuir muito mais do que razões pragmáticas: é suficiente que a gravidade “atue segundo as leis por nós expostas”, isto é, a lei do inverso do quadrado da distância, e “seja capaz de sustentar todos os movimentos dos corpos celestes e do nosso mar” (Newton, 1999 [1687], p. 943). Afora isso, Newton parece não dispor de muitos recursos conceituais e categoriais para esclarecer o estatuto ontológico particular da gravidade. Os efeitos gravitacionais eram propriedades da matéria que, embora fossem nitidamente de origem matemática (“princípios matemáticos”), não poderiam estar diretamente relacionados aos efeitos derivativos das duas únicas entidades absolutamente matemáticas, a saber, o tempo e o espaço.

Em pelo menos duas ocasiões, Newton registrou suas tentativas de enfrentar diretamente essa dificuldade. Em primeiro lugar, em uma versão preliminar do terceiro livro dos *Principia*, o *De mundi systemate*, ele atribuiu positivamente à gravidade um estatuto relacional, observando que a sua ação deveria ser encarada como “uma operação simples entre dois termos”, isto é, uma operação cuja causa deve ser dupla – “certamente uma disposição de cada corpo” –, mas que “enquanto ocorre entre dois corpos, é simples e única” (Newton, 1964, v. 3, p. 193-4).

A caracterização da gravidade como uma propriedade relacional não foi, entretanto, repetida nos *Principia*. Mesmo assim, na célebre terceira Regra para Filosofar, Newton sustenta que a gravidade não deve ser compreendida como uma propriedade essencial da matéria e, para tanto, oferece um contraexemplo bem nítido do que poderia ser uma força que pertence absolutamente à matéria inerte:

se for universalmente estabelecido pelos experimentos e pelas observações astronômicas que todos os corpos sobre ou próximos à superfície da Terra gravitam na direção dela e o fazem na proporção da quantidade de matéria presente em cada um deles, (...) terá que se concluir, de acordo com esta terceira regra, que todos os corpos gravitam em direção aos outros. (...) Não estou, entretanto, de nenhum modo afirmando que a gravidade é essencial aos corpos. Como uma força inerente, compreendo apenas a força de inércia. Ela é imutável. A gravidade diminui à medida que os corpos afastam-se da Terra (Newton, 1999 [1687], p. 796).

Nessa passagem, Newton desenvolve um argumento para distinguir universalidade e essencialidade, com base no qual pretenderá que a gravidade seja uma propriedade universal, mas não essencial da matéria. Se for possível mostrar – e, de fato, assim foi feito ao longo das proposições que compõem o terceiro livro dos *Principia* – que todos os corpos terrestres, assim como a Lua, gravitam em direção à Terra, que os mares gravitam em direção à Lua, que os planetas e os cometas gravitam em direção ao Sol, então a gravidade deve ser estabelecida como uma propriedade universal da matéria em geral. Todavia, nada disso ainda constitui uma evidência para que a gravidade seja tomada também como uma propriedade essencial da matéria. O paralelo entre inércia e gravidade é, nesse ponto, altamente esclarecedor: enquanto a primeira é uma propriedade absoluta e essencial, a segunda é uma propriedade meramente relacional e circunstancial da matéria, visto que se trata de uma qualidade cujos graus podem variar amplamente em função das circunstâncias espaciais em que os corpos se encontram e apenas “qualidades que não se podem diminuir jamais podem ser retiradas dos corpos” (Newton, 1999 [1687], p. 795).<sup>4</sup>

O esclarecimento comparativo do estatuto da gravidade e da inércia oferece, portanto, um segundo exemplo do recurso ao dualismo relativo/absoluto ou relacional/essencial na ontologia newtoniana da natureza. Tudo leva a crer que poderemos entender o mesmo dualismo categorial à ontologia própria das entidades matemáticas. Se isso for possível, poderemos concluir enfim que há um sentido em que uma entidade pode ser genuinamente matemática, sem por isso ser ou absolutamente real (tal como o são o espaço e o tempo) ou ontologicamente neutra ou referencialmente vácuca (tais como são os pontos sem massa, as trajetórias perfeitamente retilíneas etc.). Uma região ontológica intermediária entre ambos esses extremos é o que Newton parece querer delimitar com seu modo *matemático* de considerar as forças centrais atrativas. O domínio dos objetos e das propriedades relacionais parece estar destinado justamente a povoar essa região. A gravidade, enquanto objeto ou propriedade do mundo natural e empírico, situa-se em uma região intermediária dentro da ontologia da natureza, que tem na inércia seu paradigma de realidade absoluta e essencial. Por extensão, deve ser reservado às forças centrais atrativas, que ocorrem nos primeiros dois livros dos *Principia*, uma região análoga na ontologia da matemática, que teria no espaço e no tempo os paradigmas de realidades essenciais e absolutas.

<sup>4</sup> Claro que esse “decaimento” ontológico da gravidade não comprometerá irreversivelmente o seu estatuto metafísico. Newton suplementa a sua ontologia apriorista para as entidades matemáticas com uma ontologia empirista para as entidades materiais, pela qual se saberá que tanto a inércia quanto a gravidade são propriedades reais dos corpos, pois pertencem a todos os corpos com os quais se podem realizar experimentos e “as propriedades dos corpos podem ser conhecidas somente por meio de experimentos” (Newton, 1999 [1687], p. 795).

Para reforçar esse meu modo de reconstruir a concepção newtoniana das forças centrais atrativas, deve-se observar que, embora sejam essas forças as mais notórias entidades a povoar esse *intermezzo* ontológico entre o nada e o absoluto, elas não seriam as únicas. Em meio aos seus estudos matemáticos mais abstratos e em um período muito anterior aos *Principia*, Newton empregou um modo de considerar o tempo semelhante à sua posterior consideração matemática das forças centrais atrativas. Isso ocorreu em meio aos estudos do cálculo das fluxões que, juntamente com o *calculus differentialis* de Leibniz, está nas origens do cálculo infinitesimal moderno. A base conceitual e operacional do cálculo das fluxões requer a compreensão de que os objetos geométricos são gerados pelo movimento contínuo e uniforme de outros objetos: linhas são geradas pelo movimento de pontos; áreas, pelo movimento de linhas etc. Desse modo, é inevitável que o tempo assuma o lugar da principal variável independente em função da qual variam todas as outras grandezas mensuráveis – movimento, espaço, velocidade etc. Cabe ao tempo a tarefa de ritmar os acréscimos ou os decréscimos de todas as demais grandezas geradas ou extintas. Mas, para que possa ser assim operacionalizado, não basta que o tempo seja tomado como um fluxo universal, contínuo e absoluto, isto é, independente de qualquer duração particular. Nos termos em que Newton se expressa em um tratado composto por volta de 1670, conhecido como *De methodis*, é preciso que o tempo assuma também o caráter de “quantidade relativa” (*quantitate relata*), a fim de que todas as demais possam ser finalmente consideradas “quantidades correlativas” (*quantitate corelata*) (cf. Whiteside, 1967-1980, v. 1, p. 89). Newton explica, antes, como o tempo poderá ser assim considerado:

Não temos, entretanto, nenhuma estimativa do tempo, exceto na medida em que ele é representado e medido por um movimento uniforme; e, ademais, visto que apenas quantidades da mesma espécie podem ser comparadas entre si [assim também somente] suas velocidades de acréscimo ou de decréscimo [podem ser comparadas entre si]. Por isso, no que segue, não visarei o tempo formalmente assim considerado (*tempus formaliter spectatum*), mas, entre as quantidades pressupostas que sejam da mesma espécie, suporei que uma delas cresce com um fluxo uniforme e todas as demais quantidades serão referidas a essa última como se ela fosse o tempo (*tanquam tempore*), de tal modo que o nome “tempo” possa ser-lhe conferido por analogia. E, assim, onde quer que no restante deste texto ocorra a palavra “tempo” (...), por ela não se deve compreender o tempo formalmente considerado, mas uma outra quantidade por meio de cujo incremento e fluxo uniforme o tempo é representado e medido (Whiteside, 1967-1980, v. 1, p. 73).<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Acompanho aqui as sugestões de tradução de Marco Panza para essa passagem. Para uma comparação com o texto original, cf. Panza, 2010.

Vê-se aqui o mesmo dualismo antes observado na ontologia da natureza de Newton: o tempo absolutamente (isto é, nos termos de Newton e não nos nossos atuais, *formalmente*) e relativamente (isto é, nos mesmos termos, *materialmente*) considerado. Assim como ocorreu para o caso das forças centrais atrativas, essa operação de *relativização* do tempo é feita em favor da sua representação e mensuração operacional. Contudo, em ambos os casos, o tempo permanece como igualmente matemático, enquanto as forças, quando consideradas sob a idêntica condição de objetos matemáticos, jamais adquirem o caráter de entidades absolutas – mesmo quando instanciadas e hipostasiadas no esquema ontológico da natureza. Portanto, se não temos aqui um análogo completo do caráter matemático-relativo das forças, temos uma evidência indireta de que a ontologia newtoniana dos objetos matemáticos poderia admitir entidades genuinamente relativas, sem que isso signifique convertê-las em objeto referencialmente vácuos ou formais, no sentido em que atualmente empregamos “formal”.

### 3 A ONTOLOGIA CINZENTA DE NEWTON

Pretendo agora defender a interpretação acima como um ponto de vista alternativo às posições em disputa entre os comentaristas de Newton. Acerca do alcance das advertências de Newton sobre o seu modo de considerar matematicamente as forças centrais atrativas, as posições dos comentaristas dividem-se tradicionalmente em dois grandes grupos. Primeiro, aqueles que consideram os pronunciamentos de Newton mais expedientes retóricos do que propriamente preceitos metodológicos creíveis. O principal promotor dessa linha interpretativa foi Richard Westfall, para quem, embora seja “logicamente defensável” distinguir os problemas do *status* ontológico da força e aqueles atinentes a uma dinâmica quantitativa (como aquela que Newton desenvolve nos primeiros dois livros dos *Principia*), “é inconcebível que ele pudesse ter formulado a ideia [de gravitação universal] sem o conceito anterior de atração”. Por pensar assim, Westfall defende que “forças como entidades reais” e “dinâmica quantitativa” são as “irmãs siamesas da ciência newtoniana – da operação complexa de interação entre ambas, emerge os *Principia* e a lei da gravitação universal” (Westfall, 1971, p. 465).

Segundo, o grupo daqueles que pensam que não se deve menosprezar as advertências de Newton, pois elas não se aplicam apenas ao contexto da justificação – como parece pretender Westfall –, mas sobretudo ao contexto da descoberta dos seus principais teoremas. Desde o início dos anos 80 do século passado, essa linha interpretativa foi energicamente defendida por Bernard Cohen, para quem

o pensamento criativo de Newton na dinâmica celeste não deve ser interpretado a partir da sua suposta consideração das forças como propriedades reais, primárias e essenciais dos corpos ou da matéria macroscópica, mas a partir da sua capacidade de explorar as condições e propriedades de tais forças *como se* elas fossem reais, sem precisar ser capaz de encontrar uma resposta satisfatória (ou qualquer resposta) para as questões sobre a realidade independente de tais forças (Cohen, 1980, p. 253).

A possibilidade de lidar com as forças “*como se* elas fossem reais” é o ingrediente estrutural daquilo que Cohen chamou de “estilo newtoniano” (*newtonian style*) que, segundo ele, é um modo de conduzir as investigações físicas constituído de três fases sucessivas. Na primeira fase, leis e propriedades dos movimentos são descobertas tendo como base uma natureza simplificada ou matematicamente idealizada. Na segunda fase, as entidades simplificadas ou matemáticas (corpos sem massa, trajetórias retilíneas, forças atrativas etc.) são confrontadas ao mundo físico, com o objetivo de promover aperfeiçoamentos visando uma maior e melhor convergência entre o sistema matemático e o mundo identificado por meio de experimentos e observação. Isso traduziria, segundo Cohen, o procedimento de Newton nos dois primeiros livros dos *Principia*, nos quais a generalidade e a complexidade são continuamente aumentadas pela introdução de condições cada vez mais próximas do mundo natural. Somente no último estágio desse processo, a terceira fase (terceiro livro do *Principia*), Newton se volta para a aplicação dos resultados obtidos nas fases anteriores à filosofia natural, a fim de elaborar um *sistema do mundo*. Foi esse procedimento baseado em três fases que permitiu a Newton adiar o máximo possível a busca de explicações para uma força que agisse através de distâncias tão vastas, que fosse mútua e proporcional à quantidade de matéria dos corpos etc. Foi o estilo newtoniano que lhe permitiu “considerar o problema do movimento planetário em seus aspectos matemáticos, e somente mais tarde, quando ele tinha encontrado aqueles seus resultados conformes à experiência, ele enfrentou o problema físico (ou, em seus próprios termos, ‘filosófico’) de explicar o tipo de entidade que essa força centrípeta poderia ser” (Cohen, 1980, p. 109-10).

Entende-se que do ponto de vista de Cohen, a separação dos aspectos matemáticos e fisicamente reais das forças – que Westfall reconhece somente no “plano lógico” – converte-se na característica principal do efetivo desenvolvimento das ideias de Newton sobre as forças.

As divergências entre Westfall e Cohen dizem respeito, portanto, ao alcance da atitude de Newton de reivindicar um emprego de termos tais como forças e seus correlatos em um sentido exclusivamente matemático ao longo dos primeiros dois li-

vros dos *Principia*. Enquanto Westfall sustenta que tal atitude seria heurísticamente desastrosa e as advertências de Newton a esse respeito são meras racionalizações *post factum*, Cohen, por sua vez, defende que aquela atitude foi heurística e metodologicamente imprescindível e que, portanto, as advertências de Newton devem ser tomadas por seu valor de face. Mas, apesar dessa ampla divergência, ambas interpretações parecem compartilhar um pressuposto comum. Ambos entendem que, ao atribuir-lhes um significado apenas matemático, Newton estaria reivindicando uma vacuidade ontológica para as forças centrais atrativas e, assim, o adjetivo “matemático” seria nesse contexto sinônimo de ontologicamente vácuo.<sup>6</sup>

Em um artigo recente, no qual faz uma reavaliação do debate historiográfico protagonizado por Westfall e Cohen nos anos 80, identificando as filiações filosóficas de longo alcance de cada uma dessas linhas interpretativas rivais, Koffi Maglo (2007) propõe uma terceira possibilidade de interpretar as mesmas advertências de Newton sobre o caráter matemático das forças centrais atrativas. Já de partida, a interpretação de Maglo tem uma nítida vantagem sobre as duas anteriores: ela está baseada em uma cuidadosa reconstrução da filosofia da matemática de Newton. Ao adotar essa perspectiva, Maglo encontra-se em melhores condições de suspeitar que as advertências de Newton não sejam destinadas a estabelecer a identidade pressuposta igualmente por Cohen e por Westfall, a identidade entre matemática e vacuidade ontológica.

Maglo sustenta, em linhas gerais, que a filosofia da matemática de Newton é invariavelmente realista – em um sentido muito próximo ao que acima empreguei para o caso dos objetos absolutamente matemáticos, isto é, que “quantidades possuem conteúdos ou referentes ontológicos na natureza” (Maglo, 2007, p. 581) – e que, portanto, as entidades matemáticas hipostasiadas por Newton (particularmente, forças) não devem ser encaradas como ontologicamente vazias ou “fisicamente cegas” (*physics-blind*):

a interpretação filosófica da matemática adotada por Newton na maturidade parece anular suas ressalvas metodológicas, se elas forem interpretadas como sugerindo que se possa realizar inferências no domínio da física a partir de uma matemática fisicamente cega, porque o tipo de “realismo” matemático adotado por Newton não admite um formalismo radical, segundo o qual as quantidades matemáticas são inteiramente desprovidas de conteúdo físico (Maglo, 2007, p. 582).

<sup>6</sup> Para uma constatação exemplar da longevidade e da persistência das divergências interpretativas representadas de forma emblemática nos trabalhos de Westfall e de Cohen publicados ao longo da década de 80 do século passado, pode-se consultar e comparar os trabalhos recentes de Sapunaru (2008) e Forato (2008).

Desse modo, as advertências de Newton sobre o uso de termos tais como forças atrativas em um sentido matemático são encaradas por Maglo como “ressalvas metodológicas” dignas da mais irrestrita suspeição, visto que jamais “Newton tratou força somente como uma quantidade matemática e um termo neutro desprovido de qualquer dimensão ontológica” (Maglo, 2007, p. 581). Ao contrário, “nos *Principia*, força é um construto físico-matemático com fundamento ontológico e filosófico” (2007, p. 592).

Conforme disse antes, o mérito da interpretação de Maglo, em relação aos seus dois predecessores, Westfall e Cohen, é justamente insistir na dissociação entre matemática e vacuidade ontológica (ou referencial), com base na reconstrução da filosofia da matemática de Newton como uma filosofia adversa ao formalismo, no sentido contemporâneo desse termo. Todavia, a única alternativa ao formalismo que Maglo parece enxergar é um realismo matemático que uniformiza o estatuto ontológico das entidades matemáticas e ignora a possibilidade de distingui-las categorialmente – categorias tais como seriam, por exemplo, as entidades absolutas e entidades relacionais, com aplicações tanto na ontologia da matemática quanto na ontologia da natureza. Assim, com base nessa ontologia uniformemente realista, que faz anular as ressalvas metodológicas de Newton, os teoremas iniciais dos *Principia* convertem-se em tentativas de “materializar e visualizar” a ação da força (Maglo, 2007, p. 589-90). Mas seria de fato essa a única alternativa à interpretação formalista das advertências de Newton? Ou haveria ainda uma interpretação antiformalista, que preservasse as advertências metodológicas de Newton, isto é, que se mostrasse ainda compatível com o objetivo explícito de investigar “as quantidades das forças e as suas proporções”? Seria mesmo o caso de as advertências de Newton tornarem-se letra morta em benefício do objetivo de “visualizar e materializar” a ação das forças?

Se essa linha de questionamento fizer sentido, há um importante e talvez surpreendente antecedente das implicações anti-formalistas do tipo de consideração matemática das forças realizada por Newton nos *Principia*. Apesar de todas as suas próprias pretensões em contrário, é provável que Newton tenha adotado um enfoque ontológico da matematização que possui nítidos antecedentes no programa cartesiano da *mathesis universalis*. Não me refiro, obviamente, às práticas matemáticas de Newton e de Descartes, que são nitidamente diferentes e, por vezes, antagônicas. Da mesma forma, não me refiro à ontologia dos objetos matemático-absolutos, tais como o tempo e o espaço absolutos, além da ontologia das propriedades essenciais e absolutas da matéria, tal como a inércia essencial da matéria; ambas ontologias são em quase todos os seus aspectos irreconciliáveis com os fundamentos relacionistas da mecânica cartesiana. O que tenho em vista é a segunda classe de objetos matemáticos, complementar à anterior, mas igualmente indispensável à física newtoniana: os objetos matemático-relacionais. Não por acaso, o discurso filosófico, que sustenta a necessidade dessa ex-

tensão do domínio de objetos da teoria matemática de Newton – as tais “ressalvas metodológicas” segundo a perspectiva de Maglo – foi motivado pela iminente má reputação que a noção de uma força atrativa teria entre cartesianos e leibnizianos. Não seria sem propósito, portanto, que o discurso de Newton procurasse convencer seus virtuais críticos não apenas pelo que nega, mas também pelo que afirma.

O que pretendo afirmar, portanto, é que as consequências positivas do tipo de consideração matemática que Newton estabelece para as forças atrativas nos primeiros livros dos *Principia* têm nítidos pontos comuns com as consequências ontológicas, identificadas por Marion, no projeto cartesiano de uma *mathesis universalis*; consequências que ele reuniu sob o rótulo de *ontologia cinzenta* de Descartes. Os pontos a que me refiro são os seguintes:

- (1) a *mathesis universalis* permite uma *epokhè* da natureza das coisas, “que transfere o centro de gravidade (por assim dizer) da *ousia* para o conhecimento seguro – até o ponto de esquecer a coisa conhecida” (Marion, 2002, p. 99, 79);
- (2) a consideração das coisas de outro modo que não pela sua essência – “como inteligibilidade sem vínculo estrito com a essência das coisas” – substitui a natureza, considerada absolutamente, por uma comparação (Marion, 2002, p. 95, 79-80);
- (3) uma comparação não é ela mesma apenas constituída, mas é também constitutiva, sobretudo enquanto *quantificação* (cf. Marion, 2002, p. 85);
- (4) a quantificação não exige que as coisas compartilhem nenhuma essência particular, exceto a extensão (cf. Marion, 2002, p. 88);
- (5) dada a extensão, as coisas podem ser comparadas por meio de parâmetros perfeitamente imaginários ou de variáveis em si mesmas inextensas ou indiferentes a todo fundamento real (cf. Marion, 2002, p. 88);
- (6) em suma, para o programa de uma *mathesis universalis*, compreendido como “a possibilidade universal de ler o mundo como ordem e medida”, é indispensável a “*primazia absoluta atribuída à relação*” e o reconhecimento de que “a *ousia* torna-se menos o fundamento da coisa que o obstáculo ao conhecimento” (Marion, 2002, p. 185-7; grifos meus).

Nisso consiste, em parte, as bases ontológicas das normas metodológicas que Descartes estabeleceu nas *Regulae ad directionem ingenii* – compostas entre 1626 e 1628, e publicadas postumamente em 1684 –, mas que certamente podem ser identificadas em outros textos que também demandaram discussões de ordem metodológica. Marion localiza as discussões em um dos mais difundidos textos científicos de Descartes durante o século XVII:

As séries visam, então, o conhecimento. Mas como? Na medida em que elas dispõem todas as “coisas”, umas após as outras, segundo uma comparação; e isso no sentido em que, no início de *A dióptrica*, Descartes declara não ser necessário que eu me responsabilize em *dizer verdadeiramente* qual é a natureza da luz, e creio ser suficiente empregar duas ou três *comparações* que *ajudem a conceber* da maneira que me pareça mais cômoda, isto é, no sentido em que os modelos mecânicos (bola, bastão e tina) permitem conceber perfeitamente os movimentos, as refrações e os desvios da luz, sem jamais encarar a própria questão da luz (...) (Marion, 2002, p. 79).

Escudado por essa orientação metodológica, Descartes pode relacionar, em *A dióptrica* de 1637, as propriedades da luz com as interações mecânicas entre corpúsculos móveis, sem com isso pretender “dizer verdadeiramente qual é a natureza da luz”. É rigorosamente a mesma orientação que ele expõe preliminarmente à apresentação da hipótese dos vórtices celestes no terceiro livro dos seus *Princípios da filosofia* (1644).<sup>7</sup> Em ambos os casos, Descartes propõe as suas hipóteses (natureza corpuscular da luz e vórtices celestes) abdicando de qualquer pretensão quanto ao seu conteúdo de verdade e enfatizando apenas suas virtudes pragmáticas (utilidade, simplicidade, comodidade etc.). Mas o importante é que haveria mais em questão do que uma simples estratégia heurística ou meros preceitos metodológicos nessas declarações de Descartes. Há também uma “contestação da ontologia aristotélica”, a qual está estruturada sobre a primazia exclusiva da *ousia*, como sede da natureza verdadeira e absoluta das coisas. Essa contestação não se faz, todavia, em um vazio metafísico ou visando promover a nulidade ontológica. Em meio às comparações e às séries articuladas com o exclusivo objetivo de ampliar o domínio do inteligível, emerge uma nova *ontologia cinzenta*, fundada na “primazia absoluta” das relações. “Ontologia cinzenta porque não é ela declarada em lugar algum e está dissimulada em discurso epistemológico” (Marion, 2002, p. 186).<sup>8</sup>

Tudo o que procurei sugerir acima sobre a ontologia da matemática inerente aos *Principia* de Newton, posso agora enunciar mais diretamente, servindo-me do léxico empregado por Marion em sua reconstrução da ontologia implícita à *mathesis universalis*

<sup>7</sup> Nesse último caso, Descartes ainda adverte que “somos livres para supor seja o que for a respeito daquelas coisas, contanto que aquilo que se segue do que supomos esteja de acordo com a experiência” (Descartes, 1989, parte 3, § 44. 46).

<sup>8</sup> Em uma conversa com César Battisti e Érico Andrade, ocorreu-me pensar que o estatuto do movimento para Descartes – algo que não pertence à essência das coisas materiais, mas que tampouco pode ser-lhes meramente acessório ou acidental como os demais atributos não essenciais (divisibilidade, solidez, cor etc.), pois que absolutamente todos eles dependem do movimento – poderia ser também explorado na perspectiva de uma ontologia cinzenta. Afinal, se não houver razões substanciais para isso, haverá ao menos razões nominais ou léxicas, pois nada mais *relacional* do que o movimento para Descartes.

cartesiana. O ponto central é que as advertências metodológicas de Newton e, sobretudo, a sua prática matemática também podem ser compreendidas como dissimulando uma ontologia igualmente “cinzenta”, porque fundada na “primazia absoluta” das relações. No domínio dos objetos mobilizados pela prática matemática newtoniana, as relações têm uma primazia evidente sobre as essências. Nas suas advertências, Newton havia dito que nos *Principia* ele se ocuparia “não das espécies de forças e qualidades físicas, mas das quantidades e *proporções matemáticas*”. Ora, proporções matemáticas são relações que, em princípio, associam objetos cujo estatuto ontológico não está imediatamente em questão.<sup>9</sup> Mas isso não significa que tais relações sejam ontologicamente vazias ou que possam ser realizadas por meio de parâmetros perfeitamente imaginários ou indiferentes a todo fundamento real. A ontologia conexa que interessa a Newton – “cultivar a matemática na medida em que ela se relaciona à filosofia natural” (Newton, 1999 [1687], p. 382) – é aquela da filosofia natural, no interior da qual o mesmo esquema categorial absoluto-relativo poderia acomodar as entidades relacionais inicialmente admitidas em benefício da quantificação.

A decisão final de atribuir uma natureza relacional à própria gravidade corrobora, retrospectivamente, a decisão inicial de Newton de admitir as forças atrativas centrais apenas como entidades matemáticas intrinsecamente relacionais. Mas, conversamente, a atitude inicial de admitir as forças como objetos relacionais e, por isso, quantificáveis antecipa e fornece o principal argumento para excluir a gravidade do conjunto das propriedades essenciais e absolutas da matéria. Nesse sentido, não haveria propriamente entidades “físico-matemáticas”, como sugere Maglo, entendidas

<sup>9</sup> É muito tentador pensar, assim, que a filosofia da matemática de Newton poderia ser considerada uma modalidade de realismo estrutural *avant la lettre* (para empregar a mesma expressão que Walter Bezerra empregou ao me propor essa possibilidade). Há, de fato, pontos de convergência relevantes entre a minha reconstrução das idéias matemáticas de Newton e o realismo estrutural defendido por, para dar apenas dois exemplos, Worrall (1989) e Shapiro (2000). Em particular, as seguintes considerações de Worrall poderiam soar como um complemento ao que tenho enfatizado sobre a natureza relacional da gravitação newtoniana: “sob a ótica do realista estrutural, o que Newton realmente descobriu foram as relações entre os fenômenos expressas nas equações matemáticas de sua teoria, cujos termos teóricos deveriam ser compreendidos como genuínos [termos] primitivos” (Worrall, 1989, p. 122). O caráter “primitivo” de termos tais como “gravidade” deve-se à sua intrínseca inteligibilidade, resultado da nossa inelutável incapacidade de compreender “a natureza [isto é, a essência] do mobiliário básico do universo” (Worrall, 1989, p. 122). Para o caso particular dos objetos matemáticos, Shapiro observa que “o [realismo] estruturalista rejeita vigorosamente qualquer tipo de independência ontológica entre os números naturais [tomados aqui como exemplos de objetos matemáticos]. A essência dos números naturais são suas *relações* com outros números naturais” (Shapiro, 2000, p. 258). Por mais sugestivas que sejam as notórias coincidências dessas duas posições com a ontologia newtoniana baseada na “primazia das relações”, há entre elas, entretanto, sérias divergências no que diz respeito, por exemplo, ao caráter primitivo de termos tais como “gravidade” e a dependência ontológica dos genuínos objetos matemáticos (admitindo-se que espaço e tempo absolutos sejam objetos desse tipo). Eis-nos novamente diante das fontes da complexidade que julgo ser insuperável na ontologia newtoniana da matemática.

aqui como objetos com dupla cidadania ontológica (tanto na matemática quanto na *rerum natura*). Ao contrário, haveria sim uma replicação do mesmo esquema categorial (relativo-absoluto) que acomodaria, sem maiores sobressaltos, as transposições pretendidas por Newton.

Mas a principal vantagem de admitir uma identidade no plano do esquema categorial e não, como pretende Maglo, no plano das próprias entidades pode ser mostrada em um ponto ainda mais decisivo para a compreensão da ontologia newtoniana. Seria desejável que uma provável “ontologia cinzenta”, dissimulada nas “ressalvas metodológicas” de Newton, pudesse ser conciliada com a sua explícita ontologia “em branco e preto” para o caso do espaço e tempo absolutos e inércia essencial da matéria. Todavia, não creio que haja conciliação possível entre ambas ontologias. A irreduzibilidade categorial entre ambos os sentidos de matematização restará, entretanto, mais como um problema do que como uma tese para Newton. E será justamente esse fator que conferirá à ontologia da matemática newtoniana a mesma complexidade que McMullin identifica na sua ontologia da natureza. Imputar a Newton a crença em “forças como entidades reais”, como faz Westfall, ou mesmo a mera suposição hipotética da sua realidade, como faz Cohen, é extinguir o *intermezzo* ontológico que borra de cinza e expande lateralmente a linha demarcatória que separa os objetos absolutamente reais e os objetos absolutamente imaginários ou irrealis. A região cinzenta deve ser povoada por objetos genuinamente *relacionais*, que se mostram irreduzíveis a qualquer um dos dois domínios de objetos conexos, reais e imaginários.

Disso resulta, ou nisso consiste, a *complexidade* da ontologia da matemática implícita aos *Principia*. De um lado, um domínio de objetos matemáticos absolutamente reais, ancorado na ontologia aristotélica das essências ou da *ousia* e avesso aos cânones do método hipotético cartesiano. De outro lado, um domínio de objetos matemáticos relacionalmente reais, precipitado pela recalcitrante dificuldade com respeito à ontologia das forças e que, por isso, encontra-se dissimulado no discurso epistemológico destinado a recusar à gravidade a mesma pretensa vacuidade ontológica das hipóteses cartesianas. O fundamental é, no entanto, ter presente que ambos os tipos de objetos emergiram de uma prática matemática voltada aos propósitos da filosofia natural. Dessa forma, tanto um domínio quanto o outro devem ser contados entre as fontes dos *principios* matemáticos que Newton pretendeu introduzir nos assuntos da filosofia natural. Restou à posteridade filosófica a tarefa de desfazer – ou de depreciar – a complexidade resultante dessa insuspeitada combinação de ontologias.☉

AGRADECIMENTOS O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES (Brasil) e da equipe REHSEIS (CNRS, França). Agradeço a Michel Paty, Marco Panza, Veronica Calazans, Marco Valentim, Valter Bezerra, César Battisti e Antonio Augusto Videira que, em diferentes etapas da elaboração das minhas ideias a respeito desse tema, deram contribuições decisivas para que elas pudessem finalmente aparecer no formato em que aqui se encontram.

Eduardo SALLES DE OLIVEIRA BARRA  
Professor Adjunto do Departamento de Filosofia,  
Universidade Federal do Paraná, Brasil.  
barra@ufpr.br

#### ABSTRACT

Newton's *Principia* presupposes a particular philosophy of mathematics and, especially, an ontology of mathematical objects. For this to be relevant, however, it must somehow have consequences for comprehending Newton's warnings about the forces, referred to in the first theorems of *Principia*, as being considered in a mathematical way. In this article, I attempt to show that these warnings, contrary to what they may suggest, do not empty the mathematics – and the forces considered mathematically – of all ontological commitment. They are structured by a kind of non-Aristotelian ontology in which relations have primacy over essences. This ontology has clear antecedents in what Marion (1975) called Descartes' gray ontology.

KEYWORDS • Newtonianism. Universal gravitation. Mathematical objects. Ontology of nature. Cartesianism.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, C. & TANNERY, P. (Ed.). *Oeuvres de Descartes*. Paris: Vrin/Centre National Du Livre, 1995-1998. 11 v.
- BARRA, E. S. O. Milagre ou qualidade oculta? O problema do estatuto da gravitação universal newtoniana na correspondência entre Leibniz e Clarke. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 12, 1-2, p. 187-207, 2002.
- COHEN, I. B. *The newtonian revolution; with illustration of the transformation of scientific ideas*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- DESCARTES, R. Principes de la philosophie. In: ADAM, C. & TANNERY, P. (Ed.). *Oeuvres de Descartes*. Paris: Vrin/Centre National Du Livre, 1989. t. 9, v. 2, p. 1-325.
- FORATO, T. C. M. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. *Alexandria*, 3, 1, p. 29-53, 2008.
- GANDT, F. *Force and geometry in Newton's Principia*. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- GARRISON, J. W. Newton and the relation of mathematics to natural philosophy. *Journal of the History of Ideas*, 48, 4, p. 609-27, 1987.
- HORSLEY, S. (Ed.). *Isaac Newton: Opera quae exstant omnia*. Stuttgart: Verlag, 1964. 5 v.
- MACLAURIN, C. *A treatise of fluxions*. London, William Baynes/William Davis, 1801 [1742]. 2v.
- MAGLO, K. Force, mathematics, and physics in Newton's *Principia*: a new approach to enduring issues. *Science in Context*, 20, 4, p. 571-600, 2007.
- MARION, J. L. *Sur l'ontologie grise de Descartes: science cartésienne et savoir aristotélicien dans les Regulae*. 4. ed. Paris: Vrin, 2002.
- MAURY, J. P. *Newton et la mécanique céleste*. Paris: Gallimard, 1990.

- McMULLIN, E. *Newton on matter and activity*. Indiana: University of Notre Dame Press, 1978.
- NEWTON, I. O peso e o equilíbrio dos fluidos. In: \_\_\_\_\_. *Princípios matemáticos; Óptica; O peso e o equilíbrio dos fluidos*. Tradução C. Lopes de Matos, P. R. Mariconda e L. J. Baraúna. São Paulo: Abril Cultural, 1979. p. 59-90. (Os Pensadores)
- \_\_\_\_\_. *Princípios matemáticos; Óptica; O peso e o equilíbrio dos fluidos*. Tradução C. Lopes de Matos, P. R. Mariconda e L. J. Baraúna. São Paulo: Abril Cultural, 1979. (Os Pensadores)
- \_\_\_\_\_. *The principia: mathematical principles of natural philosophy*. Tradução I. B. Cohen e A. Whitman. Berkeley: University of California Press, 1999 [1687].
- PANZA, M. *Newton et les origines de l'analyse: 1664-1666*. Paris: Albert Blanchard, 2002.
- \_\_\_\_\_. Das velocidades às fluxões. *Scientiae Studia*, 8, 4, p. 509-46, 2010.
- SAPUNARU, R. A. A construção lógica do “estilo newtoniano”. *Ciência & Educação*, 14, 1, p. 55-66, 2008.
- SHAPIRO, S. *Thinking about mathematics. The philosophy of mathematics*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- WESTFALL, R. S. *Force in Newton's physics: the science of dynamics in the seventeenth century*. London: MacDonald, 1971.
- WHITESIDE, D. T. (Ed.). *The mathematical papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1967-1980. 8 v.
- WORRALL, J. “Structural realism: The best of both worlds?” *Dialectica*, 43, p. 99-124, 1989.

