

A Física na Divina Comédia de Dante

Physics in Dante's Divine Comedy

Alysson Ramos Artuso¹

Resumo: A Divina Comédia é uma epopeia clássica da literatura ocidental. Ao descrever a peregrinação do personagem de Dante pelo Inferno, Purgatório e Paraíso, o poeta Dante Alighieri explora e expande as perspectivas filosóficas, religiosas e científicas de seu tempo. As concepções da Astronomia são mais evidentes na obra, com os astros em órbitas concêntricas em torno da Terra. Este artigo visa a mostrar como conceitos da Ciência Moderna, em particular da Mecânica, Óptica, Acústica e Termodinâmica, podem ser associados ao poema e se conectam com uma visão filosófico-científica da Idade Média. Desse modo, é possível trabalhar com a História da Ciência, com uma abordagem interdisciplinar e com a relação entre Ciência e Cultura a fim de favorecer o ensino de Física especialmente no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física; Divina Comédia; Interdisciplinaridade; História da Ciência; Ciência e Cultura.

Abstract: The Divine Comedy is a classical epic poem of Western literature. The poem describes the pilgrimage of Dante's character through Hell, Purgatory and Paradise and the poet Dante Alighieri explores and expands, among others, the philosophic, scientific and religious perspectives of his time. The Astronomy conceptions are the most evident in his work, with the stars in concentric orbits around the Earth, but this article aims to show how concepts of the Modern Science, particularly Mechanics, Optics, Acoustics and Thermodynamics, can be related to the poem and how they are connected with a philosophical-scientific view of the Middle Ages. Thus, it is possible to work with the History of Science, an interdisciplinary approach and the relationship between science and culture in order to promote the teaching of physics, especially in high school.

Keywords: Physics Teaching; Divine Comedy; Interdisciplinarity; History of Science; Science and Culture.

Introdução

A Divina Comédia, escrita no início do século XIV por Dante Alighieri (1265-1321), é considerada uma das obras primas da literatura ocidental. Uma de suas características é a precisão vocabular, com uma capacidade ímpar do autor de converter ideias complexas em imagens simples, deixando espaço para interpretações de ordem literal, alegórica, moral e anagógica (isto é, relativa à Bíblia, ao místico). Assim, nessa obra, o autor alia concisão, erudição, sonoridade e complexidade de sentidos e significados a um denso ideário político, social, histórico, filosófico, religioso e também científico do medievo (BORGES, 1987; ELIOT, 1989; BLOOM, 1995; STERZI, 2008).

O objetivo deste artigo é justamente trazer à tona modelos, conhecimentos e concepções do que hoje denominamos Física e estão presentes ou encontram paralelos na Divina Comédia. Com essa dis-

¹ Instituto Federal do Paraná (IFPR). Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: alysson.artuso@ifpr.edu.br

cussão, é possível levar para a sala de aula elementos que favoreçam o ensino de Física particularmente no Ensino Médio. Em especial, serão apresentados subsídios para abordagens que considerem a História da Ciência, a interdisciplinaridade e a relação Ciência e Cultura.

O trabalho sintetizado na expressão História da Ciência, que pode englobar também Filosofia, Epistemologia e Sociologia da Ciência, tem sido defendido quase consensualmente pelos pesquisadores da área. Entre as suas vantagens estão a contextualização histórico-social do conhecimento científico e o favorecimento da compreensão de conceitos, modelos e teorias (MARTINS, 2007). Além disso, cita-se também a capacidade de humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, culturais, éticos e políticos de determinada comunidade (MATTHEWS, 1995), de tornar as aulas mais motivantes e reflexivas (MATTHEWS, 1995) e de evidenciar a dinâmica de funcionamento das ciências (QUINTAL, 2009) sem passar uma imagem deformada do trabalho científico (PÉREZ et al, 2001).

O trabalho da História da Ciência a partir da Divina Comédia também passa, é claro, pela interdisciplinaridade. Assim, é possível associar conhecimentos da Física, Química, Astronomia, História, Filosofia, Arte, Literatura e, estendendo essa noção para outras formas de expressão humana, também da Religião, percebendo como esses aspectos se ligavam para formar uma visão de mundo e se influenciavam mutuamente para descrever e explicar a realidade. Isso tanto para debater o retrato de um ideário da Idade Média Europeia que a obra traz, como também para refletir e comparar como essas formas de expressão humana se relacionaram na Idade Moderna e Contemporânea.

O movimento da interdisciplinaridade surge em meados da década de 1960 na Europa com a intenção de superar uma educação compartimentalizada que contribuía para a alienação em relação às questões da cotidianidade e a excessiva especialização que privilegiava uma única, restrita e limitada visão do conhecimento (FAZENDA, 2008). Assim, a interdisciplinaridade, para além de exigência curricular e metodológica dos documentos oficiais, pode proporcionar uma integração das diferentes áreas do conhecimento, levando à sua unificação, cooperação e troca de informações, com vantagens para o ensino, a aprendizagem e o próprio desenvolvimento das disciplinas e do conhecimento científico (SILVA e TAVARES, 2005). No processo pedagógico em especial, a interdisciplinaridade é capaz de favorecer um maior entendimento das disciplinas e das relações delas entre si (THIESEN, 2008), valorizando o papel da interação com o meio social, do diálogo, da problematização e da atitude crítica e reflexiva (BONATTO et al, 2012).

No que tange à relação Ciência e Cultura, é importante ressaltar o papel da Ciência como elemento cultural. Presente nos conhecimentos de um engenheiro para projetar um aparelho de som ou de um músico ao inovar em suas composições, também interessa ao usuário que lerá o manual ou ao ouvinte que busca compreender a música. A Física, como Ciência, opera como uma visão de mundo prática e funcional, mas também estética, no sentido da capacidade de ampliar o entendimento do que as pessoas leem ou observam sem perder a beleza e o significado dessas ações (ZANETIC, 2005). Zanetic (p. 21) defende, inclusive, que a Física, apresentada como parte da cultura, é “determinante no encaminhamento de um jovem para o encantamento com o conhecimento, para o estabelecimento de um diálogo inteligente com o mundo, para a problematização consciente de temas e saberes”.

Se é parte da cultura, a Física deve participar da formação cultural do cidadão contemporâneo, sendo fundamental a aproximação entre, por exemplo, as artes e as ciências, a qual pode ser promovida pelo uso da História da Ciência (KNIGHT, 1998; ZANETIC, 2006). Um exemplo dado por Zanetic (2006) é justamente o da obra Divina Comédia, que segue o paradigma aristotélico-ptolomaico ao descrever o Paraíso formado por nove céus concêntricos girando em torno da Terra imóvel no centro do Universo.

No entanto, a proposta desse artigo é dar atenção a outras áreas da Física que não os modelos cosmológicos. Os aspectos desse campo de estudo ligado à Física e à Astronomia contam com uma literatura vasta em outras línguas (GANGUI, 2005; BAYUK e FORD, 2008; BLAIR, 2015; MARINOZZI, 2016) e algumas iniciativas em português (NEVES, 1998; GUILGER e FORATO, 2015), ainda que localizadas. Além disso, é uma discussão por si só extensa e seu aprofundamento pode ser feito em trabalhos futuros que tenham exclusivamente esse foco. Aqui serão debatidos outros aspectos pouco explorados da Física presentes na Divina Comédia: os aspectos pertencentes aos campos da Mecânica, Óptica, Acústica e Termodinâmica.

Trabalhos sobre “aspectos científicos” existentes antes da denominada Ciência Moderna podem ser repletos de controvérsias e discussões sobre as concepções vigentes e o que era conhecido ou ensinado nas universidades e pelas elites científicas. Em geral, isso se deve pela dificuldade de se ter acesso a uma vasta gama de fontes históricas especializadas. Ainda que ciente dessa dificuldade, o presente artigo se alinha com o pensamento de Mourão (1998, p. 16). Este, ao estudar a Astronomia no século XV e XVI na Europa, afirma que “o melhor método para conhecer a cultura científica em uma determinada época é estudar as obras literárias [...] que se utilizam de conhecimento científico ensinado nas universidades naquele período”.

Mecânica

A Divina Comédia é um poema de Dante Alighieri que traz muitas inovações para o seu tempo, a começar pela escrita em dialeto italiano e não em latim como seria de se esperar da alta literatura da época. O motivo de escrever em língua vulgar era compartilhar o conhecimento com todos (ao menos com todos os alfabetizados) e tal conhecimento contido na obra permitiria tirar as pessoas do estado de miséria, de pecado, e conduzi-las ao estado de felicidade.

A obra representa alegoricamente a jornada do próprio Dante pelo Inferno, Purgatório e Paraíso – com uma construção metafísica e teológica para cada um dos três reinos, com estruturas e personagens próprios. Colocar-se como o próprio personagem de sua obra ficcional também é uma inovação do poeta florentino, que considera que sua fé e seu alto engenho lhe concedem justiça e equilíbrio. Assim, em sua viagem pelos reinos, o Dante personagem contempla as formas que o mal, o pecado, pode assumir e os modos do castigo eterno (Inferno), o processo por meio do qual a humanidade se liberta do pecado e se purifica (Purgatório) e a recompensa final com a felicidade eterna (Paraíso). E essa felicidade deriva do saber: Deus é eterno, atemporal, e estar no Paraíso “vendo” Deus é estar em contato com sua mente, é saber tudo que há para ser conhecido. Assim, as almas – comparadas a copos de diferentes tamanhos, mas todos

cheios – estão repletas da luz de Deus e não há mais inveja ou desejo. A felicidade eterna é essa contemplação direta de Deus, do pensamento divino. É o conhecimento, é saber de tudo em qualquer tempo.

Estando a felicidade ligada ao saber, sendo o saber o objetivo máximo do ser humano, mas que seria alcançado plenamente somente pela fé, é possível encontrar no poema, para além da metafísica, uma série de passagens que dizem respeito a fenômenos naturais como os descritos pelo que hoje denominamos Física. Contudo, na época de Dante este era um campo de estudo da Filosofia (representado por Virgílio, guia de Dante no Inferno e em parte do Purgatório e personificação da razão, além de símbolo da arte, do que o ser humano é capaz, do grande valor das conquistas humanas). Iniciando a discussão de algumas dessas passagens, tomemos alguns elementos da Mecânica, em especial as noções de gravidade, movimento e tempo.

A visão corrente na Idade Média era a de uma Terra como um globo solto e fixo no espaço, envolvido por uma atmosfera própria e contendo terras e mares (SPARAVIGNA, 2013a). Essa Terra esférica continha um hemisfério setentrional (superior), o único habitado e onde predominam as terras e um hemisfério austral (inferior) dominado pelos mares. O hemisfério setentrional estendia-se da foz do rio Ganges na Índia à nascente do Rio Ebro, na Península Ibérica, acompanhando o arco descrito pelo Sol nos equinócios. No centro, ao meio-dia, se localiza a cidade sagrada de Jerusalém. Na posição oposta à Jerusalém, no hemisfério inferior, haveria a única porção de terra de toda essa superfície marinha austral: a ilha que abrigaria a montanha do Purgatório. Se ela de fato existia, se seria habitada, se seria possível alcançá-la eram algumas das perguntas que surgiam dessa visão de Terra (SPARAVIGNA, 2016).

Como também defende Sparavigna (2016), essas questões foram consideradas por Dante na Divina Comédia. Na estrutura da obra, a queda de Lúcifer escavou na Terra uma espécie de fenda cônica (o Inferno) imediatamente abaixo de Jerusalém, abrigando o anjo caído no centro do planeta. Como consequência, levantou-se, na posição oposta do hemisfério austral, a porção de terra da montanha do Purgatório. Na peregrinação do personagem Dante pelo Inferno, guiado pelo poeta latino Virgílio, eles descem pelos círculos do Inferno e chegam ao centro da Terra onde encontram o próprio Lúcifer. Em seguida, Virgílio sobe com Dante às costas pela passagem vazia que os leva ao outro hemisfério e à montanha do Purgatório. Após passarem pelo centro da Terra, o guia lhes diz: “...lá estavas quando contigo eu descia, / mas, ao virar-me, atrás permaneceu / o ponto que a si todo peso guia” ^[25]. Ou seja, para Dante, está clara a simetria esférica da atração gravitacional, apontando para o centro da Terra, que também era entendido como centro do Universo. Mais do que isso, não há distinção sobre a natureza da massa (sólido ou líquido, por exemplo), com qualquer corpo massivo sujeito à atração gravitacional da mesma maneira.

A ideia do centro do planeta como centro da gravidade também está presente no Canto XXXII do Inferno, quando Dante e Virgílio chegam ao último círculo do Inferno e o personagem relata: “Indo agora pra o centro, que figura / que toda gravidade em si comporte” (ALIGHIERI, 1998a, Canto XXXIV, v. 109-112). Mais ainda, dos versos 69 a 84 do Canto XXXIV do Inferno, ao ultrapassar o ponto exato do centro do planeta, o poeta revela o esforço sobre-humano de Virgílio para conseguir fazer com que ambos pudessem seguir o caminho que os levaria de volta à superfície. Isso revela uma compreensão de que a gravidade

aumenta com a proximidade em relação ao centro do planeta.

Essa compreensão da gravidade foi utilizada por Dante em uma discussão em Verona em 1320. Ao debater um problema de sua época sobre os elementos terra e água nos hemisférios do planeta, defendeu que a circunferência de água não poderia ser maior do que a de terra (Sparavigna, 2013a). Vale ressaltar que os estudiosos da Europa medieval não trabalhavam com o conceito de força ou de ação à distância e apenas em 1687 foi proposta a Lei da Gravitação Universal por Newton.

Com a Gravitação Universal, o movimento dos astros passou a ser descrito em termos da força gravitacional. Para Dante, que seguia o modelo cosmológico medieval herdado da concepção aristotélica, para além das esferas dos planetas e do céu das estrelas fixas, que circundavam a Terra, havia o *Primum Mobile* (Primeiro móvel), além do qual não havia movimento, tempo ou espaço (BUCHMANN, 2010). Seguindo esse ideário, na Divina Comédia o motor do *Primum Mobile* é o próprio Deus – sua luz e seu amor –, é ele que provoca o movimento desse primeiro céu e, por consequência, movimenta todas as demais esferas: “a natureza do mundo, que aquieta / o seu centro, e que tudo move além, / daqui começa, como de sua meta. / E este Céu outro lugar não tem / que na Mente Divina, onde se acende / o Amor que o volve, e a nós chove também. / Luz e Amor, em seu círculo, o compreende, / assim como este os outros, e esse cinto / Aquele só que o cinge é Quem o entende” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XXVII, v. 106-114).

Tal concepção de Deus como primeiro responsável pelo movimento tem ao menos mais um importante eco na História da Física com Descartes (1596-1650) no século XVI. Embora em situação diversa, em uma enunciação que hoje relacionamos com o Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento, o filósofo francês argumentou que: “Deus, em sua onipotência, criou a matéria ao mesmo tempo que o movimento e o repouso de suas partes, e graças à sua cotidiana influência, Ele mantém tanta quantidade de movimento no Universo hoje quanto Ele colocou quando o criou” (DESCARTES, 1982, p. 36). É produtivo estabelecer essas relações, comparando semelhanças e diferenças entre os pensamentos de diversas épocas e tendo como fontes obras literárias e científicas. Isso pode colaborar não só para trabalhar a interdisciplinaridade, como também promover a contextualização e favorecer a compreensão do conhecimento científico no âmbito da Mecânica de acordo com o preconizado pelos pesquisadores da História da Ciência.

Voltando à Dante, cabe ainda mais um comentário no âmbito da Mecânica, pois na Divina Comédia o próprio tempo tem origem a partir do movimento que Deus dá ao *Primum Mobile*: “E como o Tempo, que em tal vaso fez / a sua raiz, venha noutros mostrar / suas folhas, ora claramente vês” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XXVII, v. 118-121). Não deixa de ser interessante fazer um paralelo com a concepção atual de que o tempo surge com o *Big Bang* em seu movimento de expansão que origina o Universo.

Nos anos 1300, o conceito de tempo era banal e os primeiros relógios tinham como objetivo marcar os momentos de oração, uma vez que as regras das ordens monásticas impunham momentos precisos para as rezas diárias (MARINOZZI, 2016). Essa ligação da medição do tempo com a Igreja se reflete na Divina Comédia como nos seguintes versos: “Então, como relógio que nos chame / na hora em que a esposa de Deus [a Igreja] se levanta / a matinar o esposo pra que o ame, / e em que uma peça a outra puxa ou adianta

/ e tilintando com tão doce nota / que espírito gentil de amor encanta” (ALIGHIERI, 1998c, Canto X, v. 139-142).

No entanto, há uma passagem do tempo na Divina Comédia que Marinozzi (2016) associa com a compreensão do tempo como dependente do referencial, aproximando-a da Relatividade Restrita do início do século XX. No Canto XVI do Purgatório, o personagem Dante, que está vivo e é mortal, é inquerido da seguinte maneira pela alma de um morto: “E tu quem és que o nosso fumo fendes, / e de nós falas quais de um diferente / tempo do que em calendas ainda entendes?” (ALIGHIERI, 1998b, Canto XVI, v. 25-27). A passagem é clara ao expor a existência de uma relatividade do tempo na Divina Comédia. Há o tempo do calendário da dimensão terrena, dos vivos, mas há um tempo diferente na dimensão espiritual, nos reinos dos mortos, com as almas projetadas para a eternidade. Essa relatividade do tempo também está nas almas do Inferno: os pecadores sabem do futuro, mas não do presente.

É óbvio que associar essa noção de tempo diretamente a uma noção de relatividade como a do século XX é quase caricato, mas há elementos nessa associação que podem ser úteis ao processo de ensino-aprendizagem. Um exemplo é a construção de um quadro de similaridades e diferenças entre a relatividade do tempo na Divina Comédia e na Relatividade Restrita. De similar, temos que o a passagem do tempo está relacionada com o referencial onde o observador se encontra. Além disso, pode-se argumentar que as almas que se encontram no Empíreo, o último dos céus, são eternas, obedecendo a uma passagem do tempo mais lenta que a do calendário. Vale ressaltar que o Empíreo é o mais veloz dos céus ao girar em torno da Terra. No entanto, essa associação entre velocidade e dilatação temporal não é regra na Divina Comédia, pois no Purgatório – montanha localizada na Terra – já há a mesma passagem diferenciada do tempo. Além disso, não há como associar à velocidade o fato de no Inferno, próximo do centro do Universo, haver uma compreensão do passado ou do futuro, mas não do presente, sendo essa uma característica sem qualquer paralelo com a Relatividade.

Óptica

Para começar a discussão da Óptica na Divina Comédia, pode-se trazer a clara distinção que Dante tinha de corpos opacos, translúcidos e transparentes, base do conhecimento dessa área da Física. Um exemplo é o início do já citado Canto XVI do Purgatório, quando Dante e Virgílio se deparam com os espíritos dos iracundos e um deles se aproxima maravilhado por vê-lo fender a fumaça ao se movimentar. Dante está ainda de posse de seu corpo material e assim interage com a fumaça: “Treva de Inferno, ou de noite deserta / de toda estrela, sob um pobre céu, / das mais pesadas nuvens encoberta, / nunca me fez pra o olhar tão grosso véu / nem pra o tato tão áspero tecido” (ALIGHIERI, 1998b, Canto XVI, v. 1-5).

A fumaça que Dante atravessa é tão espessa que absorve os raios de luz a ponto de evitar a visão das estrelas outrora brilhantes no céu. Ele está quase no meio do caminho da subida do Purgatório, mas sob uma camada tão espessa – e, portanto, opaca – de fumaça que o faz pensar estar no Inferno. Em outra passagem, no céu de Marte no Paraíso, onde estão aqueles que lutaram bravamente pela fé, Dante observa

sair uma luz, uma “gema”, da estrutura em forma de cruz que tinha à sua frente. A “gema” é seu bisavô e seu movimento é descrito como o de uma chama que se move por trás de uma camada de alabastro (elemento translúcido), iluminando tudo, mas sem que se possa distinguir os seus contornos exatos por trás dele: “Não se soltou a gema do seu mastro / mas pelo sulco radial correu / que fogo pareceu trás alabastro” (ALIGHIERI, 1998b, Canto XV, v. 22-24).

Há ainda inúmeros exemplos de transparência na Divina Comédia. Para citar um, pode-se recorrer ao último Canto do Inferno. Nele, os traidores dos benfeitores estão presos no gelo, e Dante pode observá-los em transparência através do gelo do mesmo modo que se vê através do vidro (cristal, na tradução para se manter a rima): “Já estava, árduo é o contar no metro usual, / ode as almas no gelo estão submersas, / transparecendo qual palha em cristal.” (ALIGHIERI, 1998a, Canto XXXIV, v. 10-13).

O símile é uma figura de linguagem típica das epopeias que equipara uma coisa à outra, estabelecendo uma relação de similaridade. Empregada largamente na poesia épica greco-latina, os exemplos dados já mostram que Dante também faz um uso relativamente frequente dessa figura de linguagem na Divina Comédia. Mais um importante caso de símile diz respeito justamente a uma compreensão da Óptica Geométrica no medievo, quando o poeta estabelece a relação de similaridade entre a visão de um anjo e um raio de luz:

Como quando, da água ou de um espelho,
o raio salta para a oposta parte,
pra lá subindo de modo parelho

ao que desce, e como este se desparte,
do fio do prumo, na mesma medida,
como nos mostram experiência e arte;

tal pareceu-me, de luz refletida
posta-me à frente, o estorvo padecer,
do qual eu tive a vista então fugida. (ALIGHIERI, 1998b, Canto XV, v. 16-24).

O clarão com o qual Dante personagem se depara é de um anjo. Sua sensação é a de um raio de Sol que se reflete na superfície da água ou de um espelho e então lhe atinge os olhos. Mas na descrição dessa reflexão o poeta é preciso, ela ocorre de forma simétrica à direção de um fio de prumo, isto é, formando ângulos iguais de incidência e reflexão. É a mesma compreensão atual de ângulos de incidência e reflexão iguais em relação à normal (o fio de prumo). Tal conceituação já era consenso no século XIV, tanto que Dante faz uso da expressão “como nos mostram experiência e arte”, valendo aqui a ressalva de que arte, derivada do latim *ars* (que por sua vez encontra equivalente no grego *tekne*), remete à técnica, ao ofício, ao estudo, ao meio de produção, ao conhecimento empregado. Tal arte era denominada *Catoptica*, o campo de estudo da luz refletida e refratada e das imagens produzidas pelos objetos capazes de refletir ou refratar a luz.

Há na tradução dessa passagem, porém, duas observações que devem ser feitas para se revelar mais

faces da História da Ciência. Em italiano, Dante escreve “*dal cader de la pietra*”, a queda da pedra, em vez de fio de prumo. A opção do tradutor é de manter o sentido e preservar a métrica do verso em português, sem levar em conta, compreensivelmente, o histórico da imagem da queda da pedra. Mas Bottagisio (1894) defende que essa é uma imagem utilizada desde os estudiosos antigos, correspondendo à ideia de uma linha perpendicular à superfície. Inclusive, afirma que o filósofo e teólogo Alberto Magno (c. 1200-1280), cuja obra seria conhecida de Dante, também fazia uso dessa metáfora. Conclui, ainda, ser possível que o próprio Dante tenha observado instrumentos e presenciado experimentos de Óptica Geométrica.

O outro ponto é a tradução “luz refletida” para a expressão italiana *luce rifratta*. A *luce rifratta* é de fato uma luz refletida, mas o emprego de *refratta*/refratada é da linguagem da época, que não fazia distinção entre os termos reflexão e refração. O filósofo e teólogo inglês Robert Grosseteste (1168-1253), cujos tratados sobre a luz influenciaram Roger Bacon (1214-1294), John Peckham (1279-1292) e mesmo René Descartes (NASCIMENTO, 1974), é uma das possíveis fontes, ainda que indiretas, de Dante (SPARAVIGNA, 2013b).

Inclusive há uma passagem no Purgatório e outra no Paraíso que ressalta essa indistinção entre reflexão e refração e se reforça a compreensão da luz a partir da obra de Grosseteste. Para o inglês, o arco-íris é criado pela refração dos raios do Sol pela umidade contida na nuvem em sua convexidade (SPARAVIGNA, 2013c). Na passagem do Purgatório, o poeta escreve, referindo-se ao arco-íris: “e, como o ar, chuvoso no retorno / do último raio, ao termo da procela /, de suas diversas cores veste o adorno” (ALIGHIERI, 1998v, Canto XXV, v. 91-94). Em italiano, o segundo verso citado é “Per l’altrui raggio, che ‘n sé si riflette” e a opção do tradutor ao final do verso, para manter a rima, omite o que seria “que nela [na nuvem] se reflete”. Se interpretarmos que o sentido da reflexão em Dante é o de uma refração, seguindo a noção de que os termos não se distinguem na época, as ideias do florentino estão de acordo com as de Grosseteste.

No Paraíso, onde Dante é guiado por Beatriz (que representa a Teologia, um conhecimento superior ao da Filosofia, e personificação a voz de Deus), mais uma passagem sobre o arco-íris corrobora essa visão. Ainda, acrescenta uma explicação para a presença do arco-íris secundário: ele é a imagem do arco-íris primário refletida na nuvem. A passagem diz: “Como de tênue nuvem se descerra, / de um arco, um outro de igual vária cor, / quando Juno sua ancila envia à terra; / surgindo o interno do arco exterior” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XII, v. 10-13).

Na mitologia greco-latina, a referência à ancila (serva, ajudante) de Juno é Íris, mensageira dos deuses para os seres humanos e frequentemente descrita como a mensageira pessoal de Juno, esposa de Júpiter. Essa ligação que ela faz entre o Céu e a Terra a identifica com o arco-íris.

Encerrando essa exposição sobre a Óptica na Divina Comédia, cabe discutir a natureza da luz em mais um símile do poeta. Quando se encontra no Paraíso, no céu da Lua, Beatriz convida Dante a direcionar sua mente a Deus em gratidão. Em seguida, o personagem descreve seus sentimentos: ele parece estar envolto em uma nuvem que está brilhando como um diamante atingido pelo sol. A Lua acolhe Beatriz e Dante dentro de si mesma como a superfície da água quando recebe um raio de luz. Na Terra, diz Dante, não podemos entender como um corpo sólido pode penetrar em outro corpo sólido sem sofrer qualquer alteração:

A Física na Divina Comédia de Dante

“Alça a tua mente, grata, a Deus”, me disse,
“que nos juntou com a primeira estrela”.

Parecia que uma nuvem nos cobrisse
lúcida, densa, sólida e polida,
como diamante igual que o Sol ferisse.

Nossa presença a gema, em si contida,
recebeu, assim como água recebe
raio de luz permanecendo unida.

Se corpo eu era (e aqui não se concebe
como outra dimensão uma admitiu,
se distinta extensão não se percebe)

certo é que mais vontade me incutiu
de ver aquela Essência onde se vê
como a nossa Natura a Deus se uniu. (ALIGHIERI, 1998c, Canto II, v. 30-42)

Seria então a natureza da luz material ou imaterial? Sparavigna (2016) defende que essa é uma questão considerada por Dante ao escrever a passagem. Duas podem ser as possibilidades. Uma é a do entendimento que a luz é imaterial e por isso a água poderia recebê-la sem alteração. Outra, a partir da comparação da luz com o próprio Dante, que se considera material, é que a Física que descreve o mecanismo de funcionamento dos céus é diferente da Física da Terra. Dante tem massa e ocupa lugar no espaço, mas sua inserção na Lua é comparada com a luz na água, de modo que também cabe considerar que a luz e Dante têm as mesmas características no símile. Assim, é possível argumentar que as leis que regem o mundo terreno talvez não sejam as mesmas leis que regem o mundo divino.

As possibilidades não são excludentes e estão de acordo com posições existentes desde a Idade Antiga com a Física dos Céus diferindo da Física terrena, o que só seria modificado com a Gravitação Universal. Mas mais do que somente esse entendimento diferente das descrições terrenas e divinas, essa aparente diferença serve de alegoria para Dante refletir sobre o mistério da coexistência em Cristo das duas naturezas, a divina e a humana.

Ainda sobre a natureza da luz, a sequência dessa passagem também trata do assunto. Questionado por Dante, Beatriz explica ao personagem o fenômeno das manchas escuras da Lua. Ele acredita que as manchas são consequência de partes do astro com densidade diferente. O argumento é refutado por Beatriz que expõe serem as estrelas fixas feitas da mesma matéria, idêntica e homogênea, embora tenham brilho diferente. Na sequência, dos versos 49 ao 111 do Canto II do Paraíso, ainda propõe um experimento mental com três espelhos para justificar que se a diferença de brilho não se dá em razão da composição dos astros, essa variação da luminosidade também não está relacionada com a distância.

Nesse experimento, Beatriz argumenta que a distância de uma fonte de luz pode alterar o tamanho

da imagem, mas não seu brilho. O experimento consiste em imaginar espelhos colocados em diferentes posições e observar a luminosidade do reflexo de imagens que se veria neles. A luminosidade, defende Beatriz, é a mesma não importa a posição dos espelhos, logo não depende da distância. Então a guia revela que esse brilho é modificado apenas pela Divina Inteligência, com seu influxo alterado pelas condições de seus receptores e é essa natureza que explica a variedade de brilho das estrelas e também a luminosidade da Lua. Nessa explicação metafísica, assim como a capacidade de usar o martelo depende da mente do ferreiro, ou como o corpo humano é um só, mas pode manifestar-se de diferentes formas por meio de diferentes órgãos, Deus pode se manifestar de diferentes formas, mesclando-se com a matéria dos variados astros e fazendo variar seu brilho de acordo com quem o recebe.

Voltando ao experimento dos três espelhos, o físico italiano Ottavio Fabrizio Mossotti (1791-1863) comenta essa passagem da seguinte maneira:

Parece-me que Dante, pela experiência dos três espelhos, queria salientar o princípio de que superfícies planas, que emitem luz ou são iluminados em igual grau, parecem ter o mesmo brilho a qualquer distância que sejam colocadas. Isto acontece porque o tamanho da sua imagem e a quantidade de luz que recebe a olho a partir de cada ponto diminuem com o inverso do quadrado da distância. Portanto, existe uma compensação e cada elemento de mesma dimensão aparente da imagem é sempre representado pela mesma quantidade de luz que atinge o olho seja qual for a distância que se observa. [...] O princípio teórico de Dante é certo, e para aquela época deveria ser como uma verdade sublime e não um conhecimento comum. (SPARAVIGNA, 2016, p. 6).

Ou seja, segundo Mossotti, como a luz que chega ao olho e também o tamanho aparente da imagem diminuem com o quadrado da distância, a razão permanece igual de modo que o brilho aparente é constante, o que está de acordo com o defendido por Beatriz.

Vale ressaltar que Dante, por meio das palavras de Beatriz, evoca o uso de um *experimentum*. O mesmo ocorria em outros momentos da Física da Idade Média, como no próprio Grosseteste, tido como fundador do pensamento científico na Oxford medieval. Claro que, em ambos os casos, se trata de um experimento diferente do compreendido pela Física na Idade Moderna e Contemporânea, pois é um exercício mental de imaginação e observação. Tal trecho, inclusive, pode ser utilizado em sala de aula para expor diferentes dinâmicas de funcionamento da Ciência ao longo dos tempos. Em Dante, foi proposto um raciocínio com uma coerência interna capaz de convencer o interlocutor, mas tal fenômeno não necessariamente ocorre fora do campo retórico e mental se observado na natureza. O experimento como conhecemos hoje, com sua realização concreta servindo como teste para a validade ou não de uma hipótese vai se consolidar apenas após Galileu (1564-1642), se tornando parte indissociável, ainda que com ressalvas, da chamada Ciência Moderna.

Acústica

Assim como acontece com a Óptica, os estudos da Acústica existem desde pelo menos a Grécia Antiga. O filósofo pitagórico Crisipo, no século V a.C., e depois Aristóteles são dois pensadores gregos a proporem que o som se propaga por meio de ondas de pressão, concepção vigente também no período de Dante.

Muito provavelmente, a Acústica surgiu dos estudos da música e seus instrumentos. Não falta na Divina Comédia nem musicalidade e nem referências a instrumentos, como na seguinte passagem, também assinalada pelo pesquisador italiano da obra de Dante, Vincenzo Pappalardo (2012): “E, como de harpa ou viola afinada, / mesmo pra quem acorde não conhece, / as cordas tesas dão um som que agrada, / assim dos lumes, que a cruz enaltece, / o canto que ora por ela surgia / me enlevava sem que o hino entendesse.” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XIV, v. 118-122).

A compreensão das cordas vibrantes e a necessidade de estarem tensionadas faz parte da Física da Divina Comédia, assim como o entendimento da propagação de ondas: “Do centro à borda, ou da borda ao centro, / move-se a água em redonda bacia, / conforme é percutida fora ou dentro.” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XIV, v. 1-3). Essa foi a fala do Dante personagem ao verificar que no céu do Sol, o quarto do Paraíso, ouviu as palavras de São Tomás vindo do círculo do Santíssimo para o centro, como o movimento das ondas em uma bacia batida na borda. As palavras de Beatriz, contudo, tiveram origem diversa, como ondas concêntricas movendo-se do centro para o exterior.

Também o fenômeno da reflexão do som, retomado por meio da figura mitológica da ninfa Eco, está presente na Divina Comédia. Trata-se do Canto XII do Paraíso, o mesmo em que há a menção ao arco-íris secundário como reflexo do primário e tal fenômeno é comparado, na sequência dos versos, à reflexão do som por meio da referência à Eco: “surgindo o interno do arco exterior, / como a fala da Ninfa imaterial [Eco] / que amor desfez como ao sol o vapor” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XII, v. 13-15).

Eco, que irritou Juno por falar demais, foi amaldiçoada pela esposa de Júpiter a apenas repetir as últimas palavras que ouvisse. A ninfa veio a se refugiar em uma caverna e os que passavam falando por essa caverna ouviam as repetições de Eco. Para que ocorra o eco no ar, é preciso de uma distância de pelo menos 17 metros até o obstáculo que reflete a onda sonora. Se a distância é menor, os ouvidos humanos não são capazes de distinguir com clareza os dois sons e ocorre o fenômeno da reverberação. Tal fenômeno é do conhecimento de Dante, que o narra no Canto XVI do Inferno, no encontro com Virgílio e os que pecaram pela violência contra a natureza e o trabalho/arte: “Chegamos onde ouvia-se já o ruído / da água que no outro círculo caía, qual de colmeia lembrando o zumbido” (ALIGHIERI, 1998c, Canto XVI, v. 1-3). No original, em vez de ruído, lê-se *rimbombo* (reverberação). Ou seja, a água que caía e sua reflexão nas rochas produziam o som reverberado, comparado ao zumbido de enxames de abelhas. De fato, o fenômeno de interferência entre a onda direta e a onda refletida faz sons ou palavras se tornarem indistinguíveis e, ao descrever essa percepção, Dante a compara com o zumbido inteligível da colmeia.

Embora breve, essa exposição da Acústica na Divina Comédia associa elementos míticos e científicos com símiles do cotidiano e da natureza. A cultura científica do autor e sua capacidade de observação da realidade e de descrição literária possibilitam essas ricas representações relacionadas com a Acústica, assim como já ocorreu no exposto para a Mecânica e a Óptica. Também para o leitor a leitura ganha novos significados ao se considerar esses elementos, no caso, do conhecimento científico para a construção dos símiles. Do ponto de vista pedagógico, a possibilidade literária de se recorrer a conhecimentos de vários campos da observação humana para a leitura de uma obra clássica permite um farto trabalho interdisciplinar, contri-

buindo tanto para uma melhor compreensão da Física como da Literatura, da Música, da História e mesmo da concepção teológica da Idade Média.

Termodinâmica

Na Idade Média, ainda não havia a Termodinâmica como um ramo da Filosofia Natural de estudo do calor e fenômenos relacionados. No entanto, havia desde a Antiguidade estudos associados ao calor, como o dos estados da matéria e que, no Medievo, também eram estudados pelos alquimistas.

Alusões aos estados da matéria e suas transformações são abundantes na Divina Comédia, em especial no Paraíso. No último Canto dele tem-se a menção da fusão pela neve que derrete, nos Cantos V e XII a evaporação das gotículas de névoa pelos raios de sol (imagem que também se encontra no Canto I do Purgatório) e no Canto XXVII a passagem do estado gasoso para o sólido de vapores congelados. Mas duas passagens em especial merecem maior atenção.

A primeira delas é a mudança do estado sólido para o líquido narrada no Canto XX do Paraíso, quando Beatriz usa do símile da neve derretendo pelo Sol para dizer que acabará com as dúvidas de Dante sobre a origem das manchas lunares: “Agora, como, exposto aos raios quentes / do Sol, queda-se nu da neve o objeto / de sua cor e do frio antecedentes, / assim também tornado o teu intelecto, / quero informar de lume tão vivaz / que irá te deslumbrar o seu aspecto.” (ALIGHIERI, 1998c, Canto II, v. 106-111).

No original, o segundo verso é *de la neve riman nudo il soggetto*. A ideia é de que quando exposta aos raios quentes do sol, resta da neve o *soggetto*, a água “nua”, sem as qualidades como a baixa temperatura ou a brancura que a faziam ser neve, permanecendo apenas sua substância. *Sugetto* é o *subiectum* dos filósofos escolásticos, para os quais a matéria-prima era uma potencialidade para as formas acidentais: “os escolásticos distinguem entre a ‘substância primeira’, que é o ente individual, concreto, que em sua substância possui efetividade e persistência e assim subjaz às suas determinações mutáveis (acidentes) enquanto portador permanente [...] e a ‘substância segunda’, que é a essência universal de uma substância singular” (OLIVEIRA, 2014, p. 62). A neve, portanto, é uma forma accidental de algo mais essencial - no caso, o elemento água. Retirar da neve qualidades como a baixa temperatura e a cor revela sua substância, seu *sugetto*.

A segunda passagem de interesse é quando o poeta se refere à ebulição, o tipo de vaporização que ocorre quando a temperatura do líquido atinge a temperatura de ebulição. Nessas condições, a pressão de vapor se iguala à pressão atmosférica e se tem o borbulhamento característico da vaporização. As bolhas que se formam próximas da fonte de calor e sobem à superfície na ebulição aparecem no Canto XXI do Inferno, onde Dante encontra os traficantes em piche (pez, breu) fervente: “Como, em seu Arsenal, os venezianos / fervem, no inverno, o pegajoso pez, / pra de seus lenhos consertar os danos, [...] / aqui, por fogo não, mas por ditame / divino, em baixo um grosso breu fervia, a orla toda enviscando em seu derrame. / Eu olhava, mas nele mais não via / que as bolhas que a fervura levantava” (ALIGHIERI, 1989a, Canto XXI, v. 7-9; 16-20).

Trata-se de uma passagem que não envolve transformações do estado físico da água, mas do piche,

como o que os venezianos ferviam para remendar as embarcações. Há a compreensão, portanto, de que vários elementos estão sujeitos às transformações da matéria, o que de certa maneira se liga ao sonho alquímico de se transmutar chumbo em ouro. Também chama a atenção que no Inferno não há fonte de calor para ferver o piche, sendo a onipotência divina a responsável pelo aquecimento. Ou seja, há o reconhecimento do calor para, no mundo terreno, aumentar-se a temperatura do líquido e transformá-lo em vapor. No entanto, no mundo espiritual as leis físicas novamente podem ser diferentes, seguindo os ditames divinos.

Outras passagens de interesse para se discutir a Física da Divina Comédia são as que se referem ao ciclo da água. Há, no Purgatório, ao menos duas relevantes referências:

Livre ele é de qualquer alteração:
só o alcança motivo que lhe leve
de si o próprio Céu, e outro não.

Por isso, aqui chuva, granizo, neve
geada, orvalho que acima ocorrer
dos três degraus da escada ele proscreve.

Nuvens aqui não leves sequer,
nem de Taumante a filha, que por vez
vai lá em vária postura aparecer;

vapor seco além do último dos três
degraus não sobe – que antes citei eu –
onde o guarda de Pedro pousa os pés. (ALIGHIERI, 1989b, Canto XXI, v. 43-54)

Estas são palavras que a alma do poeta latino Estácio dirige a Dante, dizendo que a Porta de São Pedro, que dá acesso ao Purgatório, está situada acima do limite assumido para a precipitação terrestre. Tampouco há nuvens, relâmpagos ou arco-íris (a filha de Taumante é Íris, a personificação do arco-íris) no Purgatório. Quanto ao “vapor seco”, a física aristotélica atribuiu a causa dos fenômenos atmosféricos aos vapores saindo do chão: dos vapores úmidos dependem a precipitação; do vapor seco e rarefeito nascem os ventos; do vapor seco e denso, aprisionado nas entranhas da terra, são produzidos os sismos. Essa concepção também explica o desmaio de Dante ao cruzar o Rio Aqueronte no Inferno: “E da lacrimada terra um vento / surgiu, de um clarão rubro acompanhado, que me tolheu de todo sentimento. / E caí, como em sono derribado” (ALIGHIERI, 1989a, Canto III, v. 133-136).

Contudo, os vapores e os ventos não alcançam o Purgatório, situado acima da esfera do ar na estrutura da Terra da Divina Comédia. Para Aristóteles, a esfera do ar seria dividida em três diferentes regiões: a inferior, temperada, adequada para a vida humana; a intermediária, onde eram gerados os meteoros; e a superior, serena e luminosa situada para além da zona das tempestades. Tomás de Aquino (1225-1274) era um dos filósofos e teólogos que argumentava que o paraíso terrestre estava situado na primeira região, a única apropriada para a vida humana. Giles de Roma (1243-1316) e São Boaventura (1218-1274) defen-

diam que ele se localizava na terceira zona, livre de qualquer perturbação como frio, vento ou chuva. É esse o ponto de vista de Dante, que coloca o paraíso terrestre no topo da Montanha do Purgatório. Entretanto, ao chegar ao Jardim do Éden, Dante se depara com folhas farfalhando como se agitadas por uma brisa e a água dos rios do Paraíso fluindo. Essa aparente contradição é esclarecida por Matelda, personagem que Dante encontra ao percorrer a floresta do paraíso terrestre:

Pra escapar do transtorno inferior
vindo de exalações da água e da terra,
que buscam sempre o máximo calor,

o qual o homem lá embaixo tanto aferra,
tanto o monte foi feito se elevar,
que é livre desde onde sua entrada cerra. [...]

A água que vês não surge da nascente
que restaura vapor que o frio converta,
como rio que em seu curso apouque e aumente,

mas nasce de uma fonte firme e certa
que, quanto a graça de Deus lhe fornece,
tanto verte, pra dois lados aberta (ALIGHIERI, 1989b, Canto XXVIII, v. 97-102; 121-126) ^[55]

Novamente há a afirmação de que as perturbações atmosféricas, produzidas segundo a concepção medieval (que, no caso, deriva da física aristotélica) pelos vapores emitidos da terra e das massas de água – e que tendem a aumentar com o calor – não alcançam o Purgatório. O vento no Éden, explica Matelda, se dá em razão do atrito da atmosfera, que se move em círculos com a Montanha do Purgatório. E são os esporos e sementes que esse vento carrega do Paraíso que vão fecundar o mundo dos humanos. Os rios também não surgem das chuvas ou da neve derretida nas altas montanhas, que a depender da intensidade da precipitação ou derretimento fazem o volume dos rios aumentar ou diminuir, mas de uma fonte milagrosa permanente. Mais uma vez, assim como a fonte de calor do piche no Inferno, é a vontade e o poder divinos que alimentam e fazem correr os rios no topo do Purgatório. É outro momento em que pode ser explorada o funcionamento da Ciência na Idade Média: as leis válidas para o mundo terreno são diferentes das do mundo celeste e, além disso, trata-se de uma Ciência que está subjugada à Religião, no sentido de ter sua dinâmica de funcionamento ditada pelos poderes de Deus. A realidade, diante do exposto na Divina Comédia, é o pensamento de Deus. Isto porque Deus é potência e ato, assim, o que Deus pensa é ato, é realidade, existe. Disso advém a possibilidade e a não contradição às leis físicas. Estas são tentativas humanas de descrição da natureza e subjugadas à onipotência divina.

Outro ponto relevante na Física da Divina Comédia diz respeito à entropia. A Termodinâmica atual, a partir do conceito de entropia desenvolvido no século XIX, tem em sua Segunda Lei que a entropia total do Universo nunca diminui, ficando invariável em processos reversíveis e aumentando em processos irreversíveis. A interpretação estatística da entropia dada pelo físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) relaciona-a com a desordem, combinação de microestados muito mais provável que a ordem das partículas

que compõem um sistema. Portanto, o Universo caminha espontaneamente para estados de maior entropia e, assim, maior desordem.

Dante não tem conhecimento desse princípio termodinâmico formulado a partir do século XIX, mas a ideia de que tudo tende à desordem e à corrupção está presente na Divina Comédia. Um exemplo é a conversa de Beatriz e Dante no Céu de Mercúrio, em que a guia fala: “Tu dizes: ‘vejo a água, vejo o fogo / a terra e essências mais, mistas ou puras / à corrupção ceder e acabar logo; / e entretanto também são criaturas / e então, se o teu dizer for verdadeiro, / deveriam ser da corrupção seguras.’” (ALIGHIERI, 1989c, Canto VII, v. 124-129). Embora criadas por Deus, Beatriz confirma que tudo tende à corrupção, entretanto, continua a guia, a matéria contida em tudo que há se mantém, pois essa foi a criação de Deus, e não necessariamente a finalidade ou o que resultou dessa matéria. Em termos físicos, é a forma de Dante afirmar a tendência à desordem, mas sem abrir mão da conservação da matéria e do papel divino nessa conservação.

Novamente, associar o conhecimento científico da época refletido na Divina Comédia à Ciência Moderna é uma licença poética e científica, mas que é tomada porque pode trazer vantagens didáticas. Como tem sido exposto, a forma de descrever a natureza na Divina Comédia traz elementos do que hoje chamamos de Física e um ponto importante a se ressaltar é que os momentos em que essas descrições falham são os momentos em que atua a Divina Providência, como também mostra o exemplo a seguir.

Outra consequência da Segunda Lei da Termodinâmica do século XIX é seta do tempo, com o sentido de sua passagem do passado para o futuro. Aos humanos o inexorável passar do tempo conduz inevitavelmente à morte e mesmo as cidades e a civilização conhecerão seu fim: “ouvir dizer como as estirpes hão / de acabar, admirado não vai pôr-te, / se até as cidades têm sua extinção. / As vossas coisas todas têm suas mortes, / como vós, e bem pouco ela recua / nas que estiquem demais sua certa sorte” (ALIGHIERI, 1989c, Canto XXI, v. 76-81).

Entretanto, pode-se notar que a concepção atual da Segunda Lei da Termodinâmica não parece se aplicar no Inferno. Para além da questão do tempo, já comentada de que no inferno as almas sabem do futuro, mas não do presente, há outra passagem de interesse na sétima vala do oitavo círculo do Inferno, onde se encontram os ladrões. Serpentes os atacam e os fazem passar por profundas transformações. Um deles, Vanni Fucci, é reduzido a cinzas que em seguida se coligam e restabelecem o personagem, fazendo permanente o seu castigo. Sua ordem é permanentemente estabelecida de acordo com o castigo lhe imposto por Deus.

Evidentemente, comparar a descrição das transformações de ladrões no Inferno com uma lei posterior da Termodinâmica é um contrassenso, mas o exercício é capaz de encontrar um argumento para essa “violação termodinâmica” dentro da lógica da Divina Comédia: a vontade e a capacidade de Deus. Assim como a fonte de calor dos que queimam no piche fervente do Inferno ou o movimento do vento e das águas no Paraíso, um defensor da “Física de Dante” pode argumentar que é a sabedoria e a onipotência divina – e somente elas – que podem se sobrepor às aparentes leis da natureza e, no caso, provocar processos capazes de diminuir a entropia do Universo. Para além disso, na Divina Comédia a própria realidade não passa da emanção do pensamento de Deus, que ao pensar concretiza a realidade e somente pela razão, pelo conhe-

cimento humano, não é possível compreender plenamente os engendres dessa realidade.

Uma passagem do Canto I do Paraíso é elucidativa nesse sentido: “‘Todas as coisas’, começou no instante, / ‘têm ordem entre si, e está a forma / que a Deus faz o Universo semelhante. / Vêm altas mentes que ela se conforma / aos signos do Senhor, o qual é o fim / para o qual é voltada aquela norma” (ALIGHIERI, 1989c, Canto I, v. 103-108).

Parafraseando Pappalardo (2012), para Dante a sabedoria com que as coisas foram feitas carrega o sinal do criador. Todas as coisas têm entre e por trás de si uma ordem; a lua, as estrelas, os animais, as pedras, cada criatura expressa uma ordem cósmica e essa ordem é a forma como o Universo se assemelha a Deus, pois emana dele. Portanto, tudo que existe, cada detalhe é importante porque nele brilha a centelha da causa primeira, do criador, e, desse modo, é digno de ser observado e conhecido. Trata-se de um pensamento poderoso, um pensamento necessário inclusive para o nascimento e desenvolvimento da Ciência Moderna, na qual se substituiu a causa primeira do criador pela causa física/científica presente na natureza, pela busca de uma ordem sem o plano transcendental. Estudar os limites do universo observável ou dedicar grandes esforços e vultuosos investimentos para se procurar o Bóson de Higgs são exemplos de como continuamos apostando que, mesmo nos cantos remotos da realidade, há algo que merece ser observado e conhecido e que há uma ordem por trás disso, uma ordem de alguma forma acessível a nós.

Com isso, explorando a relação entre Ciência e Cultura, pretende-se mostrar como o conhecimento da Física pode também enriquecer a leitura de uma obra literária. Óbvio que o estudo escolar da Física não tem como objetivo primeiro possibilitar a compreensão mais profunda de obras artísticas e literárias. Contudo, também se pode observar que o conhecimento científico amplia e embeleza as possibilidades de leitura, especialmente de obras de fôlego como a Divina Comédia. Ademais, evidencia-se como a Ciência é parte da cultura de um povo e de uma época, a ponto de se refletir inclusive nas produções artísticas e literárias produzidas por esses povos em suas épocas. Os temas de interesse, os preceitos científicos consolidados e controversos, as explicações mitológicas e religiosas, o ideário filosófico, etc., são todos aspectos imbricados que permitem o diálogo com o mundo. O reconhecimento e a compreensão desses aspectos e dessas imbricações pode contribuir, parafraseando Zanetic (2005), no relacionamento e mesmo no encantamento do estudante com o conhecimento. Isso para além de um objetivo que vise apenas à prova e ao vestibular ou mesmo para além de uma descrição prática e funcional da natureza. Proporciona inclusive uma dimensão estética e, em certa medida, transcendental para o conhecimento científico.

Considerações finais

O objetivo da Divina Comédia declarado categoricamente por Dante, é o de retirar os seres humanos do pecado e levá-los à felicidade. Isso passa pela consideração da culpa por meio da razão, da Filosofia, a ciência humana simbolizada por Virgílio; pelo arrependimento, expiação e correção das tendências pecaminosas em direção à purificação; e pelo recebimento da graça divina guiada pela Teologia, a ciência divina simbolizada por Beatriz. A felicidade eterna, alcançada no Paraíso, reside na visão de Deus e em

poder saber tudo que há para ser conhecido. A felicidade, portanto, é de natureza intelectual.

Contudo, separar a fé da razão não leva à verdade de acordo com Dante e aqui cabe lembrar do teólogo inglês Guilherme de Occam (1285-1347), contemporâneo do poeta florentino e que defendeu uma separação de fé e razão, o que contribuiu para sua excomunhão. A posição da Divina Comédia é alinhada com a de São Tomás de Aquino, outro contemporâneo de Dante, para quem a razão (Filosofia) é condição necessária, mas não suficiente para se chegar à revelação (Teologia). Tanto não é suficiente que Aristóteles e o próprio Virgílio não estão no Paraíso na obra de Dante.

Assim, a Filosofia, a razão, o conhecimento do mundo está subjugado à Teologia, à fé. Só pela razão não é possível acessar o Paraíso, mas o percurso para chegar até lá tem muito de racional e científico. E muito da Física da Divina Comédia é um reflexo da concepção aristotélica adaptada aos dogmas da religião cristã por, entre outros, o já citado Tomás de Aquino. Nessa visão de mundo, é inclusive o intelecto que diferencia os humanos dos animais, havendo na capacidade de saber do ser humano a dimensão divina que ocasiona essa diferenciação.

Alinhado com esse olhar geral sobre o papel da Ciência na Divina Comédia e dos paralelos expostos que se pode estabelecer com a Ciência Moderna – o experimento; as relações com as questões filosóficas, sociais, culturais, políticas e religiosas de cada época; a busca pela ordem subjacente à natureza; os paralelos entre os conceitos físicos; etc. Propusemos também a discussão de alguns pontos específicos da Física da Divina Comédia a partir da Mecânica, da Óptica, da Acústica e da Termodinâmica. A discussão, contudo, não foi exaustiva e é possível estabelecer ainda relações com o Eletromagnetismo, a Relatividade e a Teoria das Cordas, campos de estudo que evidentemente não existiam na época de Dante.

Mas para além da exposição encerrada em si própria, a questão da Física da Divina Comédia foi colocada de modo a auxiliar no processo de ensino-aprendizagem por meio de abordagens que levem em conta a História da Ciência, a interdisciplinaridade e a relação Ciência e Cultura. Tais abordagens podem ser usadas em sala de aula, em projetos interdisciplinares com professores de outras áreas e mesmo para a produção de sequências didáticas e materiais instrucionais, inclusive no âmbito do PNLD.

Em especial no que se refere à relação entre Ciência e cultura, temos a defesa de que o conhecimento físico histórico e atual pode auxiliar na compreensão até mesmo de obras literárias e, de modo a participar também da formação cultural dos cidadãos, pode-se explorar os encadeamentos entre a Física e a Literatura, bem como as demais Ciências e Artes. E isso não se esgota na utilização da Divina Comédia. Para esse rico fim de trabalhar a História da Ciência, a interdisciplinaridade e a cultura no processo pedagógico, são muitas as possibilidades artísticas e literárias. Para ficar em somente mais dois exemplos de epopeias clássicas, podemos citar o Paraíso Perdido do poeta inglês John Milton (1608-1674) e Os Lusíadas, do português Luís Vaz de Camões (c. 1542-1580).

Referências

ALIGHIERI, D. **Divina Comédia – Inferno**. Trad. I. E. Mauro. São Paulo: Ed. 34, 1998a.

- _____. **Divina Comédia – Purgatório**. Trad. I. E. Mauro. São Paulo: Ed. 34, 1998b.
- _____. **Divina Comédia – Paraíso**. Trad. I. E. Mauro. São Paulo: Ed. 34, 1998c.
- BAYUK, D. A.; FORD, C. E. Dante's cosmology revisited. **Archives Internationales d'Histoire des Sciences**, v. 58, n. 160-161, p. 69-88, 2008.
- BLAIR, M. **Points and Spheres: cosmological innovation in Dante's Divine Comedy**. Waco: Baylor University, 2015.
- BLOOM, H. A estranheza de Dante: Ulisses e Beatriz. In: _____. **O cânone ocidental**. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995.
- BONATTO, A.; BARROS, C. R.; GEMELI, R. A.; LOPES, T. B.; FRISON, M. D. Interdisciplinaridade no ambiente escolar. In: Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, 9, 2012. Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: UCS, 2012.
- BORGE, J. L. Sobre a Divina Comédia. In: _____. **Sete noites**. São Paulo: Max Limonad, 1987.
- BOTTAGISIO, G. **Osservazioni sopra la fisica del poema di Dante**. Città di Castello: S. Lapi, 1894.
- Buchmann, G. **O céu de Galileu**. São Paulo: A Girafa, 2010.
- DESCARTES, R. **Princípios de Filosofia**. Trad. S. Milliet. São Paulo: Difel, 1982.
- ELIOT, T. S. Dante. In: _____. **Ensaio**. São Paulo: Art Editora, 1989.
- FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa**. 15 ed. Campinas: Papyrus, 2008.
- FIOLHAIS, C. Física e Poesia. **Gazeta de Física**, v. 26, n. 1, p. 44-46, 2003.
- GANGUI, A. La Cosmología de la Divina Comedia. **Ciencia hoy**, v. 15, n. 89, p. 18-23, 2005.
- GUILGER, F. J.; FORATO, T. C. M. A Divina Comédia de Alighieri e o geocentrismo medieval na escola básica. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 21, 2015. Uberlândia. **Anais...** São Paulo: SBF, 2015.
- KNIGHT, D. Working in the glare of two cultures. **Interdisciplinary Science Reviews**, v. 23, p.156-160, 1998.
- MARINOZZI, M. La Divina commedia e le scienze. Disponível em: <<http://www.leparoledellascienza.it/joomla/images/documenti/la%20divina%20commedia%20e%20le%20scienze.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2016.
- MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MOURÃO, R. R. F. **A Astronomia em Camões**. Rio de Janeiro: Lacerda, 1998.
- NASCIMENTO, C. A. R. O tratado sobre a luz de Roberto Grosseteste. **Trans/Form/Ação**, v. 1, p. 227-237, 1974.
- NEVES, M. C. D. A história da ciência no ensino de física. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.
- OLIVEIRA, M. A. **A ontologia em debate no pensamento contemporâneo**. São Paulo: Paulus, 2014.
- PAPPALARDO, V. **La Divina Commedia tra fisica, matematica, astronomia**. Liceoweb, 2012. Disponível em: <www.liceoinweb.altervista.org>. Acesso em 24 set. 2016.
- PÉREZ, D. G.; MONTORO, I. E.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciênc. educ.**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- QUINTAL, J. R.; GUERRA, A. A História da Ciência no processo de ensino-aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, p. 21-25, 2009.

A Física na Divina Comédia de Dante

SILVA, I. B.; TAVARES, O. A. O. Uma pedagogia multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar para o ensino/aprendizagem da Física. **Holos**, v. 21, p. 4-12, 2005.

SPARAVIGNA, A. C. From Rome to the Antipodes: The Medieval Form of the World. **International Journal of Literature and Arts**, v. 1, n. 2, p. 16-25, 2013a.

_____. Translation and discussion of the De Iride, a treatise on optics by Robert Grosseteste. **International Journal of Sciences**, v. 2, n. 9, p. 101-107, 2013b.

_____. On the Rainbow, a Robert Grosseteste's Treatise on Optics. **International Journal of Sciences**, v. 2, n. 9, p. 108-113, 2013c.

_____. Physics and Optics in Dante's Divine Comedy. **Mechanics, Materials Science & Engineering**, v. 3, p. 1-8, 2016.

STERZI, E. **Por que ler Dante**. Rio de Janeiro: Globo, 2008.

THIESEN, J. S. A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. **Rev. Bras. Educ.**, v. 13, n. 39, p. 545-598, 2008.

ZANETIC, J. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-posições**, v. 17, n. 1, p. 39-57, 2006.

_____. Física e cultura. **Cienc. Cult.**, v. 57, n. 3, p. 21-24, 2005.