

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO  
PUC-SP

Alessandro Menegat

Um estudo sobre as trajetórias dos projéteis nas obras de  
Niccolò Tartaglia

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

São Paulo

2015

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO  
PUC-SP

Alessandro Menegat

Um estudo sobre as trajetórias dos projéteis nas obras de  
Niccolò Tartaglia

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dissertação apresentada à  
Banca Examinadora da  
Pontifícia Universidade Católica  
de São Paulo, como exigência  
parcial para obtenção do título  
de MESTRE em História da  
Ciência, sob orientação do Prof.  
Doutor Fumikazu Saito.

São Paulo

2015

Banca Examinadora

---

---

---

## **Agradecimentos**

A minha família, pelo apoio de sempre.

A meu orientador, Fumikazu Saito, pela imensa dedicação e paciência.

Ao Bruno, Carlos Eduardo, Odécio e Pedro, pelas contribuições feitas a esse trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Estudos Pós Graduated em História da Ciência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (Capes), pela bolsa concedida.

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo tratar alguns aspectos das diferentes argumentações de Niccolò Tartaglia (1500-1556) sobre as trajetórias dos projéteis. Na *Nova Scientia* (1537), as trajetórias seriam compostas por duas retas e um arco de circunferência. Já nos *Quesiti et Inventioni Diverse* (1546), elas são apresentadas completamente curvas. Esses dois enfoques diferentes dados ao tema sugeriram a alguns historiadores que Tartaglia teria mudado de ideia, abandonando, de certa maneira, suas antigas convicções. Desse modo, baseado em documentos originais, este trabalho busca retomar os argumentos de Tartaglia de modo a compreendermos as razões que o teriam levado a dar dois diferentes enfoques nas duas obras. Dentre outros fatores, apresentamos indícios de que Tartaglia passou a contar, por volta de 1540, com obras anteriormente desconhecidas e que pouco circulavam até então. Tendo isso em vista, nosso trabalho fornece indícios de que podemos observar certa continuidade entre as argumentações de Tartaglia sobre as trajetórias nessas duas obras

Palavras-Chave: Niccolò Tartaglia; Século XVI; Trajetória dos projéteis

## Abstract

This work aims to address some aspects of Niccolò Tartaglia's (1500-1556) different arguments on the trajectories of projectiles. On one hand, at *Nova Scientia* (1537), the author explained that the trajectories were composed by two straight lines and a circular arc; on the other, at *Quesiti et Inventioni Diverse* (1546), the same trajectories were presented only as curves. These two different approaches to the trajectory of projectiles suggested to some historians that Tartaglia had changed his mind, leaving, in a way, his old beliefs. Thus, based on original documents, this paper seeks to resume Tartaglia arguments in order to understand the reasons which would have led him to change his approaches in those two works. Despite other factors, we present evidence that Tartaglia had, around 1540, come in contact with works that had almost none circulation before. With this in mind, our work provides evidence that there is some continuity between the arguments of Tartaglia on the trajectories in these two works.

Key Words: Niccolò Tartaglia; 16th century; Trajectory of projectiles

## Sumário

INTRODUÇÃO .....	8
CAPÍTULO 1 .....	11
1.1 Tartaglia e seu contexto .....	11
1.2 <i>Nova Scientia</i> .....	17
1.3. <i>Quesiti et Inventioni Diverse</i> .....	24
CAPÍTULO 2 .....	27
2.1 O estudo da trajetória dos projéteis na <i>Nova Scientia</i> .....	27
2.2 O estudo da trajetória dos projéteis nos <i>Quesiti</i> .....	43
CAPÍTULO 3 .....	50
3.1 Descontinuidades na argumentação de Tartaglia .....	50
3.2 Sobre a mudança das trajetórias .....	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
BIBLIOGRAFIA .....	62

## INTRODUÇÃO

Alguns historiadores da ciência analisaram a obra de Niccolò Tartaglia (1500-1557) dedicada a temas ligados à matemática e à filosofia natural. Entre os assuntos que despertaram maior interesse provavelmente estão aqueles voltados a sua abordagem matemática de temas como o lançamento de projéteis e o comportamento de corpos em diferentes fluidos<sup>1</sup>.

No período em que viveu Tartaglia, ocorreram diversas transformações na filosofia natural. Em suas obras notamos o reflexo da chegada, ou da maior difusão, de tratados gregos e medievais, responsáveis por fornecer, entre outras coisas, subsídios aos governantes para enfrentarem os novos desafios da época.

Neste trabalho discorreremos sobre dois diferentes enfoques dados por Tartaglia às trajetórias dos projéteis. Para tanto, analisamos duas de suas obras em que foram abordados um leque de problemas ligados à arte da artilharia. Na primeira, intitulada *Nova Scientia Inventa da Nicolo Tartalea*, cujas edições em vida do autor saíram das prensas em 1537 e 1550, o estudioso abordou a trajetória dos projéteis em termos geométricos, dividindo-a em duas retas e uma parte circular<sup>2</sup>. Na segunda obra, *Quesiti et Inventioni Diverse de Nicolo Tartalea Brisciano*, publicada pela primeira vez em 1546, com uma segunda edição de 1554, além de apresentar a trajetória dos projéteis completamente curva, Tartaglia parece ter abandonado o enfoque geométrico tal como encontramos na obra anterior<sup>3</sup>.

Como veremos de perto, os historiadores da ciência tradicionalmente têm abordado essa mudança de enfoque na obra de Tartaglia. A discussão levou os historiadores a concordarem que o impacto das novas fontes, obtidas

---

<sup>1</sup> Para os estudos de Tartaglia que envolviam *Sobre os Corpos Flutuantes*, de Arquimedes, cf., por exemplo, Echeverría, "Hydrostatics on the Fray"; Keller, "Archimedean Hydrostatic"; Meli, *Thinking with Objects*, 42-5.

<sup>2</sup> A segunda edição, *La Nova Scientia de Nicolo Tartaglia con una Gionta al terzo Libro*, recebeu alterações significativas apenas no Livro III, como sugere o título da obra. Observa Cuomo que na edição de 1550 Tartaglia fez acréscimos significativos apenas no Livro III, além de eliminar certos latinismos e títulos honoríficos atribuídos a Francesco dalla Rovere; Cuomo, "Shooting by the Book", 155 e 179, nota 2. Ekholm é da mesma opinião; cf. Ekholm, "Tartaglia's *Ragioni*", 193, nota 44. A partir deste momento citaremos a obra como *Nova Scientia*.

<sup>3</sup> A segunda edição, também com poucas mudanças, recebeu o título de *Quesiti et Inventioni Diverse de Nicolo Tartaglia di Novo Restampati con una Gionta al Sesto Libro*. Referiremo-nos a essa obra como *Quesiti*.



pelo autor da *Nova Scientia* entre 1537 e 1546, foi fator decisivo para tal mudança. Devido a isso, buscamos retomar os indícios das fontes encontradas nessas obras de modo a compreendermos as razões que teriam levado Tartaglia a mudar de ideia e em que sentido tais ideias a respeito da trajetória dos projéteis realmente mudaram.

Levamos em consideração em nosso trabalho alguns documentos originais do autor, entre os quais as duas edições de cada obra feitas em vida do autor<sup>4</sup>. Apesar de parciais, as traduções que consultamos abrangem grande parte das discussões de Tartaglia sobre as trajetórias dos projéteis<sup>5</sup>.

Consultamos a bibliografia secundária sobre o tema que aqui abordamos e outros trabalhos e estudos sobre o período em que foram escritas as obras e a vida de Tartaglia. Desse modo, consideramos os estudos clássicos de Stillman Drake e Alexandre Koyré. Foram também consultados alguns estudos mais recentes, como os de Serafina Cuomo e Karin Ekholm<sup>6</sup>.

Nosso trabalho está dividido em três capítulos. No primeiro apresentamos aspectos mais gerais das obras de Tartaglia e o contexto em que tais obras foram publicadas. Nesse capítulo, procuramos mostrar que, além de toda a complexidade do período, lidamos com um personagem ligado a uma tradição particular, desvinculada da imagem habitual que temos dos humanistas e dos estudiosos ligados à filosofia natural e à matemática.

No segundo, discorreremos sobre as trajetórias dos projéteis apresentadas na *Nova Scientia* e nos *Quesiti*. Nele abordamos com mais detalhes os argumentos apresentados por Tartaglia e a maneira como lidou com o conhecimento a que tinha acesso à época da elaboração de seus tratados.

Por fim, no terceiro capítulo, apontaremos alguns aspectos historiográficos que têm norteado as investigações sobre esse tema.

---

<sup>4</sup> Extraímos as versões originais do site da Biblioteca Nacional da França <http://gallica.bnf.fr/Search?ArianeWireIndex=index&p=1&lang=PT&q=niccolo+tartaglia&x=0&y=0> (acessado em 20 de janeiro de 2015). Essas e as outras obras de Tartaglia estão disponíveis também na página *Mathematica Italiana*, incluindo as diferentes edições. Citaremos as obras de acordo com as segundas edições da *Nova Scientia* e dos *Quesiti*, disponíveis na Gallica, por serem de mais fácil leitura e porque as alterações não foram significativas nas partes das obras que analisamos.

<sup>5</sup> Drake traduziu os dois primeiros livros da *Nova Scientia* e, dos *Quesiti*, somente fragmentos do Livro I, VII e VIII, conforme a primeira edição de cada obra. A tradução de Koyré de alguns trechos que cita diretamente pode ser encontrada em seu artigo dedicado a Tartaglia nos *Estudos de História de Pensamento Científico*.

<sup>6</sup> Citados na bibliografia.

Diferentemente da visão historiográfica tradicional, a nossa análise apresenta indícios de que a mudança de foco no estudo das trajetórias não implica necessariamente que Tartaglia tenha mudado completamente de ideia a esse respeito.

## CAPÍTULO 1

### Tartaglia, a *Nova Scientia* e os *Quesiti et Inventioni Diverse*

#### 1.1 Tartaglia e seu contexto

Niccolò Tartaglia nasceu em 1499 ou 1500, na cidade de Bréscia, norte da atual Itália, e faleceu no dia 13 de dezembro de 1557. O autor viveu alguns anos em Verona, mas foi em Veneza onde trabalhou e dedicou-se, entre outras atividades, ao estudo das matemáticas e da filosofia natural<sup>7</sup>.

No que diz respeito às matemáticas, Tartaglia é amplamente conhecido pelos historiadores por ter desenvolvido a solução das equações de terceiro grau e pela querela que se seguiu a esse respeito entre ele e Antonio Maria Fiore (séc. XV - séc. XVI), sendo ainda lembrado por ter publicado um extenso trabalho sobre aritmética, intitulado *General Trattato de Numeri et Misure*<sup>8</sup>. Por muitos anos, o autor ensinou a geometria dos *Elementos* de Euclides, e teve entre seus alunos Giovanni Battista Benedetti (1530-1590), que mais tarde viria a ser um eminente estudioso das matemáticas. Além disso, não podemos deixar de mencionar sua tradução para o vernáculo dos *Elementos* de Euclides (fl. ca. 295 a.C.), publicada em 1543, o que faz com que Tartaglia seja conhecido não apenas pelos historiadores da matemática, dada a relevância dessa obra para o século XVI<sup>9</sup>.

Mas o interesse de Tartaglia não se restringia às matemáticas. Dedicou-se também a estudos de filosofia natural. Além das já citadas *Nova Scientia* e *Quesiti*, outra obra do estudioso, *Ragionamenti de Nicolo Tartaglia sopra la sua Travagliata Inventione*, apresenta um caráter eminentemente prático, traço

---

<sup>7</sup> Masotti, "Niccolò Tartaglia", 258. São escassas as informações de ordem biográfica sobre o autor. Podemos encontrá-las basicamente na oitava *Questão* do sexto livro dos *Quesiti*. Essas e outras informações estão disponíveis nas obras que Masotti dedicou a Tartaglia, arroladas na bibliografia.

<sup>8</sup> Cf. Eves, *Introdução à História da Matemática*, 302-3 e 307-8; Boyer, *A History of Mathematics*, 316-8 e 335.

<sup>9</sup> Como observado por Drake, essa tradução, a primeira em vernáculo de que temos notícia, foi de grande importância para o desenvolvimento da mecânica. Como também lembra Drake, ainda Galileu propunha suas obras em vernáculo quando visava atingir um público fora do ambiente universitário, tornando-as, dessa forma, acessíveis a leitores que não conheciam as letras clássicas, engenheiros, militares etc.; cf. Drake & Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century*, 21.

comum de seus trabalhos nessa área<sup>10</sup>. Pelos temas abordados nelas (artilharia, organização de exércitos, fortificação de cidades, içamento de navios), podemos dizer também que as referidas obras foram voltadas mais a questões que lhe pareciam importantes para Veneza<sup>11</sup>.

Tartaglia pertencia a uma tradição bastante singular dentro da imagem habitual que temos dos estudiosos de matemática e de filosofia natural, o que talvez explique as peculiaridades de suas obras. Ele não estudou nem lecionou em universidades, mas foi, durante muitos anos, professor em escolas de ábaco. Na verdade, devido a dificuldades financeiras, sequer recebeu ensino formal, e seus conhecimentos iniciais de matemática foram adquiridos por conta própria, ainda na juventude<sup>12</sup>.

Podemos dizer que o trabalho de Tartaglia foi influenciado, assim, pelo tipo de "matemáticas" que eram ensinadas nas escolas de ábaco, pois tinham pouca relação com aqueles conteúdos encontrados nas universidades<sup>13</sup>. Cabe aqui observar que desde a Idade Média as artes liberais (*trivium* e *quadrivium*) constituíam parte significativa do currículo universitário<sup>14</sup>. O *trivium* era geralmente composto por três disciplinas, a saber, gramática, dialética e retórica; e o *quadrivium*, por quatro outras: geometria, astronomia, aritmética e música. Segundo Grant, apesar de restarem escassos registros do currículo medieval, sabemos que na faculdade de artes de Oxford, onde maior ênfase se dava ao *quadrivium*, o tratado mais utilizado no ensino de geometria era os *Elementos* de Euclides, e no ensino de aritmética, os livros VII a IX dos mesmos *Elementos* e um tratado de Jordanus de Nemore (fl. ca. 1220) intitulado *Arithmetica*<sup>15</sup>.

Nas escolas de ábaco, por outro lado, os temas tratados tinham um apelo mais empírico, isto é, de ordem prática. As matemáticas ensinadas

---

<sup>10</sup> Nessa última obra, que chamaremos apenas de *Travagliata*, o autor propõe uma forma de içar navios do fundo do mar. Sobre o caráter prático dessa obra quando comparada à proposta de içamento de Cardano, cf. Echeverría, 484-8. Para um estudo mais detalhado que abrange a *Travagliata*, cf. Keller, A.

<sup>11</sup> Masotti, "Niccolò Tartaglia" 260.

<sup>12</sup> Ibid.

<sup>13</sup> Ekholm, "Tartaglia's Ragioni," 183.

<sup>14</sup> Com a chegada das obras de gregos e árabes, nos séculos XII e XIII, as sete artes liberais passaram a dividir o currículo com obras de filosofia. Ainda segundo Grant, o currículo das universidades nesse período era constituído principalmente pela "lógica", parte do *Órganon* de Aristóteles, pelo *quadrivium* e pelas "três filosofias" – filosofia natural, moral e metafísica; Grant, *Os Fundamentos da Ciência Moderna*, 50.

<sup>15</sup> Ibid., 50-5.

nessas escolas estavam voltadas para instruir, entre outros, filhos de artesãos, de comerciantes, que se tornavam cada vez mais representativos numa época de grandes mudanças políticas e econômicas. Para atender a essa demanda, por volta do ano 1200, surgiu o *Liber Abbaci*, de Fibonacci (ca. 1170 - depois de 1240), que antes do final do século XIII já circulava, numa versão resumida, em versões em vernáculo. Ao longo dos séculos XIV a XVI, principalmente na região da Toscana, as escolas de ábaco podiam ser encontradas em diversas localidades.<sup>16</sup>

Os alunos começavam seus estudos nas escolas de ábaco aos oito anos e permaneciam até os treze, aproximadamente. Ali, eles aprendiam a resolver problemas dos mais variados, tais como calcular juros simples e compostos, áreas e volumes, converter o preço das mercadorias nas diferentes moedas então empregadas<sup>17</sup>.

Recentemente alguns estudiosos chamaram a atenção para a influência do ambiente dessas escolas sobre a obra de Tartaglia, explicando assim certas particularidades de sua argumentação. Ekholm, com maiores detalhes, aponta aí a origem da forma tanto de escrever e estruturar seus tratados, como dos métodos empregados para resolver os problemas.<sup>18</sup> A autora afirma que mesmo na forma de enunciar as questões há semelhança com os objetivos das escolas de ábaco:

"Tenho um triângulo equilátero no qual foi inserido um círculo, e encontro ou sei que o diâmetro do círculo é a raiz cúbica de dezesseis. Agora lhe pergunto qual era o lado do triângulo?"<sup>19</sup>

Nas escolas de ábaco, não se punha a questão de forma genérica. Os *maestri d'abaco* empregavam as ferramentas de que dispunham para resolver

---

<sup>16</sup> Grendler, *Schooling in Renaissance*, 307-8.

<sup>17</sup> Cuomo, "Niccolò Tartaglia, Mathematics", 31. Na Grécia Antiga distinguia-se, por exemplo, a aritmética da "logística": enquanto esta pode ser encarada como uma arte prática de se calcular com os números, a primeira trata das relações abstratas entre os eles, distinção também mantida na Idade Média; cf. Eves, 98. Estudos sobre aritmética e geometria no período medieval podem ser encontrados em Mongelli, *Trivium e Quadrivium*; Wagner, *The Seven Liberal Arts*.

<sup>18</sup> Cf. Ekholm, 182-3.e 206-7.

<sup>19</sup> Questão colocada pelo interlocutor de Tartaglia, no caso, certo Frei Ambrosio; Tartaglia, *Quesiti*, 102r.

os problemas mais variados, procedimento típico das escolas. Veremos uma atitude semelhante de Tartaglia ao lidar com suas diferentes fontes.<sup>20</sup>

Não sabemos ao certo se Tartaglia frequentou uma dessas escolas. Entretanto, é nesse contexto, em que os estudiosos passaram a lançar mão de conhecimentos matemáticos para resolver problemas de ordem prática, que devemos situar as obras de Tartaglia dedicadas à filosofia natural. De fato, podemos dizer que é no contexto em que as artes mecânicas passaram a ser valorizadas que o estudo de Tartaglia adquire grande relevância para a filosofia natural e a matemática daquela época.

De acordo com Rossi, a valorização das artes mecânicas se evidencia em diversas publicações. A partir do século XV tornou-se abundante o número dos tratados técnicos que, diferentemente das artes liberais, eram cultivadas por um grupo de estudiosos que não estavam ligados ao ensino universitário da época. Esse grupo, que incluía estudiosos como Filippo Brunelleschi (1377-1446), Piero della Francesca (ca. 1410-1492), Vannoccio Biringuccio (1480-1539) e Tartaglia, buscava em autoridades da Antiguidade, Vitruvius (séc. I a.C.), Euclides, Arquimedes (ca. 287-212 a.C.) etc., respostas a novas questões, ligadas à arquitetura, artilharia, entre outras áreas, que se colocaram para a sociedade daquele tempo. Ainda de acordo com Rossi, as obras escritas por esse grupo de estudiosos aproximaram o "saber científico" e o "técnico-artesanal"<sup>21</sup>.

Ao tratar da importância crescente dos problemas práticos no século XV, com intensificação a partir de meados do XVI, relacionados aos temas acima, Rossi observa:

“A colaboração entre artesãos superiores e homens de ciência se impunha na maioria das artes como uma necessidade: não apenas no âmbito da balística, da arquitetura e da construção de fortificações, mas também no caso de cirurgiões (...) que dependiam das investigações dos matemáticos, astrônomos e cosmógrafos”<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> Ekholm estuda, em detalhes, as diferentes *ragioni* citadas por Tartaglia na *Nova Scientia*, nas quais a autora vê grande influência das escolas de ábaco, de Arquimedes, entre outras; cf. Ekholm, 186-200

<sup>21</sup> Rossi, *Los Filósofos y las Máquinas*, 27-8.

<sup>22</sup> *Ibid*, 45.

Essas considerações nos esclarecem diversas características que encontramos na *Nova Scientia* e nos *Quesiti*. Como veremos mais adiante, Tartaglia não só consultou os artilheiros a respeito da trajetória dos projéteis, como também se propôs a fornecer-lhes meios de desempenharem de forma mais eficaz a arte que praticam<sup>23</sup>.

Podemos, assim, dizer que Tartaglia estava de certa maneira interessado nos aspectos mais práticos da mecânica. Segundo Drake, naquela época, havia dois grupos de autores italianos, um mais preocupado com o rigor teórico dado às artes mecânicas, e o segundo predominantemente interessado por seus aspectos práticos<sup>24</sup>. Contudo, se considerarmos o contexto do século XVI, não é possível estabelecer claramente uma fronteira entre esses dois grupos. De fato, no que diz respeito aos estudos de Tartaglia, que faria parte do segundo grupo, transparecem preocupações não só de ordem prática, mas teórica. Tanto é assim que o termo "nova" no título da obra de 1537 já traz indícios de que Tartaglia pretendia dar à artilharia o estatuto de "arte liberal" e, para tanto, buscou fundamentá-la nas matemáticas e, também, na filosofia natural aristotélica.

Tornou-se usual o emprego de "novo" no título de diversas obras, aplicado seja a uma área ainda não estudada pelos antigos nem medievais, seja porque nova era a abordagem de disciplinas já milenares. De fato, entre as obras mais ilustres do século XVII temos o *Novo Órganon* de Francis Bacon (1561-1626), os *Discursos sobre duas Novas Ciências* de Galileu Galilei, a *Nova Astronomia* de Johannes Kepler (1571-1630) etc. Mas também no XVI, com a maior difusão dos tratados da Antiguidade e, sem dúvidas, por questões sociais diversas, surgiram obras que procuraram se afastar já no título do conhecimento dos antigos. Entre essas mencionamos *Newe Attractive* de

---

<sup>23</sup> É significativo que até a investigação empreendida por Tartaglia sobre a trajetória dos projéteis deveu-se a uma pergunta feita por um artilheiro. Nos *Quesiti*, os artilheiros parecem estar ainda mais presentes. Todo o Livro I constitui-se de respostas de Tartaglia a perguntas feitas ora por artilheiros, ora por pessoas diretamente interessadas nessa arte. Mesmo Koyré, que não costuma entrar em discussões que envolvem contexto, admite influência decisiva dos artilheiros sobre a *Nova Scientia*; cf. Koyré, 113-4.

<sup>24</sup> Drake & Drabkin, 13-16. Optamos por tratar de alguns aspectos da mecânica no período em que viveu Tartaglia no Capítulo 3. Para estudos sobre a mecânica antes de Galileu e Newton, cf., por exemplo, Alfonso-Goldfarb, *A Magia das Máquinas*, especialmente Cap. 3; Drake & Drabkin, "Introduction"; Laird & Roux, *Mechanics and Natural Philosophy*, "Introduction"; Laird, "The Scope of Renaissance Mechanics".

Robert Norman (fl. final XVI), influente no *De Magnete* de William Gilbert (1544-1603), e a *Nova Scientia* de Tartaglia.

Com efeito, além da artilharia muitas disciplinas matemáticas surgiram no período. Ao tratar do acréscimo dessas disciplinas àquelas que compunham tradicionalmente o *quadrivium*, Freedman afirma que, nas classificações do conhecimento feitas no século XVI, a quantidade delas variava segundo o proponente, claro, mas enormemente em número, podendo chegar à expressiva quantia de trinta disciplinas<sup>25</sup>.

Muitas das novas áreas de estudo tinham características peculiares. A óptica, por exemplo, era para Aristóteles uma "ciência subordinada", por estar de alguma forma ligada à geometria e à filosofia natural.<sup>26</sup> Conforme o filósofo, uma ciência é "subordinada" a uma "superior" se depende desta para seus princípios e demonstrações. Além disso, a subordinada trata de um fato (o "que", como numa ilusão de óptica, ao nos parecerem ter tamanhos diferentes certos objetos que na verdade são iguais), enquanto a superior explicaria as razões de tal acontecimento (o "porquê").<sup>27</sup>

Tais discussões ganharam peso a partir do Renascimento. No século XVII predominava o termo "matemáticas mistas" para designar as disciplinas que se encontrariam entre a matemática e a filosofia natural. Tartaglia é geralmente citado pelos estudiosos que tratam do tema no século XVI, pois na introdução de sua tradução dos *Elementos*, referia-se a essas ciências.<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Freedman, *Philosophy and the Arts*, 42-3. O autor, por abordar a classificação em geral, infelizmente, não nos fornece nem autores nem datas precisas. Durante a Idade Média, as artes mecânicas ou "servis" passaram a figurar, segundo Weisheipl, bastante completas e sobre os objetivos e a classificações do conhecimento mais abrangentes e influentes. Nessa categoria, que se contrapunha às sete artes liberais, encontramos, entre outras, a arte da construção, da medicina, do comércio, de cozinhar; cf. Weisheipl, "The Nature, Scope, and Classification", 473-80.

<sup>26</sup> Segundo o filósofo grego, as premissas de uma ciência devem entre outras coisas empregar termos homogêneos, ou seja, o termo médio e os extremos devem pertencer a um mesmo "gênero". Assim, os teoremas da geometria não podem ser demonstrados por premissas da aritmética, uma vez que tratam de magnitudes contínuas e discretas, respectivamente. Aristóteles, porém, admitia que a óptica e a harmônica podem ser tratadas matematicamente, como de fato acontecia. Isso seria possível porque num certo sentido os sujeitos dessas ciências subalternadas seriam contidos pelos da geometria e da aritmética; cf. Ross, 46. Para um estudo sobre o tema com exemplo da *Óptica* de Euclides, cf. McKirahan, "Aristotle's Subordinate Sciences", 197-206.

<sup>27</sup> Cf. McKirahan, 201-3. Nesse exemplo tomado da óptica, a geometria explica o "porquê", pois é pela geometria que se demonstra que o fato observado depende do ângulo sob o qual vemos os objetos. Este exemplo, tomado da *Óptica* de Euclides pode ser encontrado em McKirahan, 199-201.

<sup>28</sup> Dear, "Mixed Mathematics", 151.



Feitas essas considerações mais gerais, passamos a tratar das duas obras de Tartaglia por nós estudadas. Veremos que ambas abordam os temas ligados à artilharia em seus aspectos práticos e teóricos, porém de formas diferentes. Tartaglia as organizou de duas formas distintas, visto que uma segue a estrutura dedutiva, própria dos tratados de geometria, e a outra, a de diálogo de cunho argumentativo, como aquela encontrada em alguns tratados de filosofia natural. Nessas duas obras, o autor tratou as trajetórias dos projéteis considerando as noções já apresentadas por autoridades bastante reconhecidas em sua época, notoriamente Aristóteles e Euclides.

## 1.2 *Nova Scientia*

Tartaglia dedicou a *Nova Scientia* a um personagem de grande destaque em sua época, Francesco Maria dalla Rovere (1490-1538), duque de Urbino e capitão do exército de Veneza de 1523 até a data de sua morte<sup>29</sup>. Não sabemos ao certo por que razão Tartaglia escolheu esse personagem, entretanto, podemos afirmar que os assuntos abordados na obra eram de interesse dos príncipes e governantes daquela época.

Mas a *Nova Scientia* despertou o interesse não apenas dos príncipes mas dos estudiosos do período. Além das edições de 1537 e 1550, as que se seguiram após a morte do autor atestam que essa obra foi influente no decorrer do século XVI: reimpressões foram feitas em 1551, 1558, 1562, 1583, além de uma reimpressão em conjunto com outras obras do início do XVII<sup>30</sup>.

No que diz respeito ao conteúdo, a *Nova Scientia* foi originalmente planejada para conter cinco livros. Entretanto, o projeto inicial sofreu alterações, visto que apenas três deles foram concretizados. Os dois primeiros tratam dos movimentos dos projéteis e suas trajetórias, e o terceiro apresenta

---

<sup>29</sup> Serafina Cuomo menciona diversas obras dedicadas a dalla Rovere na década de 1530, especialmente trabalhos relacionados à mecânica e matemática; cf. Cuomo, "Shooting by the Book", 167-8.

<sup>30</sup> Ibid., 155. Esta última apareceu sob o título *Opere del Famosissimo Nicolo Tartaglia cioè Quesiti, Nova Scientia, Travagliata Inventione, Ragionamenti Sopra Archimede*, em cuja dedicatória encontramos claros indícios de que as obras circulavam no Arsenal de Veneza; cf. Tartaglia, *Opere del Famosissimo Nicolo Tartaglia, Dedicatória*.

instrumentos para auxiliar na medição do ângulo de inclinação em que os disparos dos canhões são realizados.

Quanto à estrutura da obra, é notória a influência de Euclides. Nos três livros da *Nova Scientia*, Tartaglia procura demonstrar as proposições a partir de definições, suposições e sentenças comuns, de forma muito similar àquela encontrada nos *Elementos*, ao qual Tartaglia se reporta com frequência. Contudo, a *Nova Scientia* é, antes de mais nada, um tratado dedicado ao movimento dos projéteis. Isso fica claro na introdução à obra, bem como nas figuras apresentadas, na ordem e no encadeamento em que discute cada proposição.

Podemos dizer que a motivação de estudar e investigar a trajetória dos projéteis não partiu de considerações de ordem teórica, mas práticas. Na *Epistola*, a dedicatória ao *Signor dalla Rovere*, Tartaglia relata que o problema foi formulado por um artilheiro:

“No ano de 1531, quando eu morava em Verona, Ilustríssimo Senhor Duque, um íntimo e cordial amigo, artilheiro experiente do *Castel Vecchio*, perguntou-me qual o modo de obter-se o maior alcance com o disparo de um canhão. Ainda que nessa arte eu não tivesse nenhuma prática, porque, em verdade, Senhor Duque, jamais havia disparado um canhão, arcabuz, morteiro ou mosquete, querendo servir a meu amigo, prometi dar-lhe em pouco tempo uma resposta definitiva”<sup>31</sup>.

Cabe observar que naquela época ainda não estava claro qual seria a melhor inclinação do canhão a fim de atingir-se o maior alcance do projétil no disparo. E, para dar uma resposta ao seu "amigo", Tartaglia procurou investigar a questão considerando dois aspectos: as "razões naturais e geométricas" e a forma da trajetória dos projéteis. Assim, ao dar a "resposta definitiva", ele afirma:

"E depois que mastiguei e ruminei (*hebbi ben masticata et ruminata*) tal questão, demonstrei-lhe, com razões naturais e

---

<sup>31</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*. Tartaglia escreve “*dil modo de mettere a segno un pezzo de artigliaria al piu che puo tirare*”, outras vezes “*maggior tiro*”. Daí a opção por "alcance", que não era entendido pelo autor como distância horizontal. Quanto a "*pezzo de artigliaria*", Masotti aponta os vários tipos de artilharia, com seus diferentes calibres: por exemplo, um *pezzo de artigliaria* era utilizado para disparos até 45°, enquanto se empregava um *mortaro* nos disparos de 45° a 90°; cf. Masotti, introdução para *Quesiti*, LVXXIII e LXXIV. Salvo quando indicado, utilizaremos genericamente "canhão".

geométricas, que é preciso elevar o canhão até fazer  $45^\circ$  com plano do horizonte (...)"<sup>32</sup>.

Aqui vale notar que Tartaglia apresentou argumentos não só experimentais, mas também geométricos para convencer o artilheiro e Francesco dalla Rovere<sup>33</sup>. Para tanto, ele recorreu ao que denominou *isperimenti particolari*, que consistiam basicamente em realizar uma série de disparos com o canhão, medindo não só a sua inclinação, mas também o alcance dos projéteis. Essas medidas eram depois relacionadas para verificar qual seria o melhor resultado.

Para realizar as medidas, Tartaglia lançou mão de um instrumento conhecido como *squadra* (Figura 1). A *squadra* era utilizada pelo artilheiro para inferir, para cada inclinação e carga de pólvora do canhão, a distância atingida por um disparo. Cabe observar que a *squadra* é um daqueles instrumentos que nos séculos XVI e XVII surgiram para resolver problemas matemáticos, observacionais e experimentais, pois a matemática passa a ser empregada para investigar problemas em diferentes aspectos da natureza, não apenas os de ordem prática. Muitos dos instrumentos eram utilizados na arte militar, na navegação, questões da maior relevância para príncipes e governadores<sup>34</sup>.

O autor descreve a *squadra* como um objeto de madeira ou metal, de formato ABC, que contém o quadrante IGK<sup>35</sup>. O espaço entre IGK e EF devia ser dividido em 12 partes, cada uma delas chamada "ponto", e cada ponto, por sua vez, em outras 12 partes, totalizando 144 "minutos". De tal forma, um objeto em D atado por um fio (DH) de seda ou metal pode indicar a medida na escala EF<sup>36</sup>.

---

<sup>32</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*.

<sup>33</sup> Cuomo observa que Tartaglia se refere a dalla Rovere como alguém a par das discussões, sempre capaz de acompanhá-las; cf. Cuomo, "Shooting by the Book", 162.

<sup>34</sup> Saito & Dias, *Articulação de Entes Matemáticos*, 10-1.

<sup>35</sup> Nos *Quesiti*, a *squadra* é apresentada de forma mais simplificada, daí nossa escolha de seguir essa descrição. Tartaglia discorre com mais detalhes sobre o uso da *squadra* no Livro III de *Nova Scientia*.

<sup>36</sup> Cf. Tartaglia, *Quesiti*, 5r-v Além da nomenclatura mencionada, aparecem os termos *perpendicularo* para designar o fio DH atado com um peso de chumbo em D, e *pironcino*, o eixo; cf. Masotti, introdução para *Quesiti*, LXXVIII. Com a notação que utilizamos, podemos dizer que cada "ponto" equivale a  $7.5^\circ$  ( $90^\circ/12$ ).

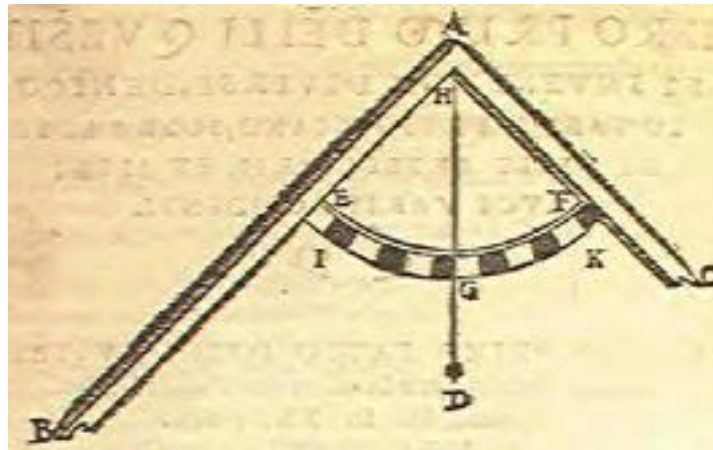


Figura 1: A *squadra*<sup>37</sup>.

Esse instrumento era utilizado da seguinte maneira: segurando-o por C (Figura 2), o artilheiro inseria a outra extremidade (B) na boca do canhão, e à medida que o inclinava a medição podia variar entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ <sup>38</sup>. Assim, para cada disparo era possível relacionar um ângulo de inclinação ao alcance do projétil. Isso permitiu a Tartaglia concluir que a melhor inclinação era a do sexto "ponto" ( $45^\circ$ ).

---

<sup>37</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*; Tartaglia, *Quesiti*, 5r-6r. As imagens que aqui apresentamos foram todas tomadas das fornecidas pelo próprio autor

<sup>38</sup> Como dissemos antes, um "canhão", no sentido que utiliza Tartaglia, podia variar até  $45^\circ$  apenas; acima dessa inclinação, era preciso utilizar um *mortaro*.

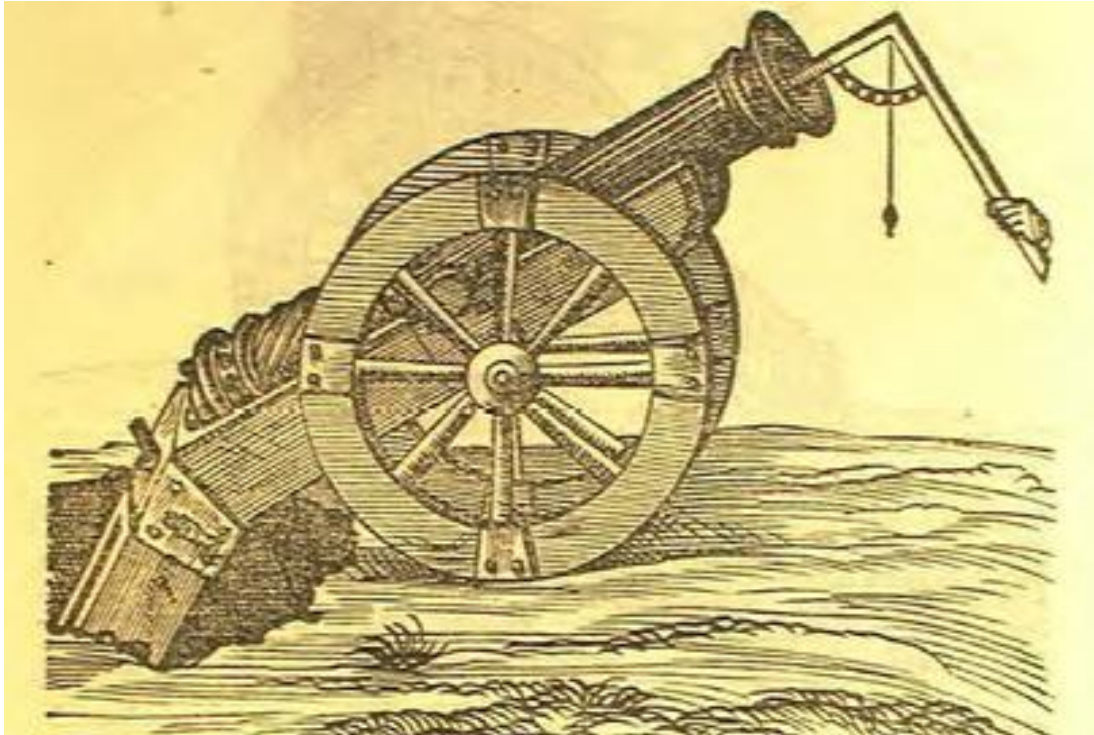


Figura 2: Modo de utilizar a *squadra*<sup>39</sup>.

Com as medidas obtidas com esse instrumento era também possível construir uma tabela de disparos. A esse respeito, Masotti afirma que, naquela época, os artilheiros conheciam tais tabelas. Uma dessas evidências é a publicação de uma tabela de disparos em 1590 feita por um espanhol de nome Alaba em que observava: "o imortal Tartaglia foi quem a concebeu primeiramente"<sup>40</sup>.

Não sabemos ao certo se há alguma relação entre as medidas elencadas nessas tabelas com a forma da trajetória do projétil proposta por Tartaglia. Mas seguramente, a melhor inclinação assim observada levou Tartaglia a imaginar que a trajetória teria uma parte retilínea e outra curva (Figura 3).

---

<sup>39</sup> Essa figura também foi representada nas duas obras; cf. Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*; Tartaglia, *Quesiti*, 6v.

<sup>40</sup> Masotti, introdução para *Quesiti*, XXX.

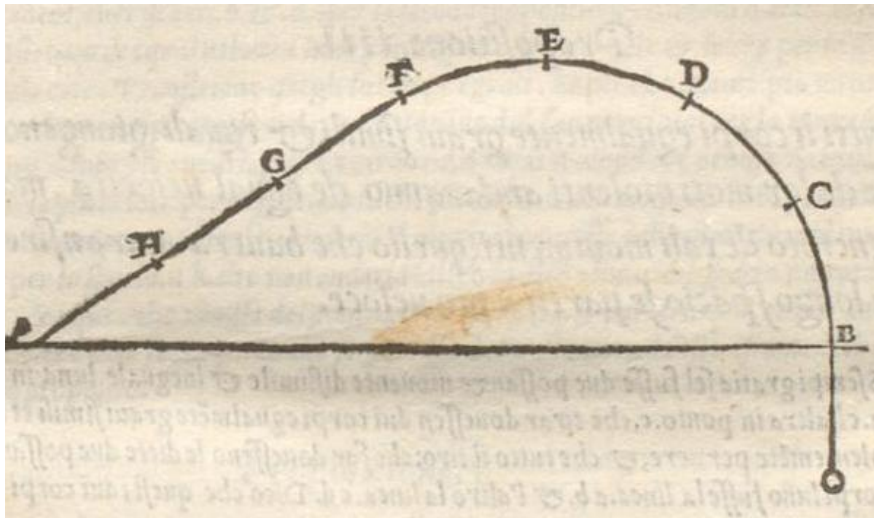


Figura 3: A trajetória de um projétil na *Nova Scientia*<sup>41</sup>.

Mais adiante discorreremos sobre os dois movimentos, natural e violento, que compõem essa trajetória segundo Tartaglia. Aqui, entretanto, é preciso considerar que Tartaglia chamava a atenção do duque dalla Rovere para o fato de que não bastava para o artilheiro saber o alcance de seu canhão, pois precisava também conhecer a distância até o alvo. Isso implicava num conjunto de operações em que estavam incluídas questões tanto de natureza técnica como matemáticas. Assim, após enumerar uma série de resultados por ele encontrados, o estudioso, ao falar de seus resultados, como o de 45°, acrescenta:

“Depois percebi, Magnífico Senhor, que todas essas coisas auxiliam pouco um artilheiro se a distância do lugar em que ele precisa acertar não lhe é conhecida. De que lhe adiantaria saber, Magnânimo Duque, que seu canhão em certa inclinação atinge 1356 passos, em outra, 1468, e noutra ainda 1576?”<sup>42</sup>.

Desse modo, a fim de obter as medidas necessárias para compreender o formato da trajetória e calcular o melhor ângulo de disparo, Tartaglia com o auxílio da *squadra*, observa que era possível otimizar a arte da artilharia. Entretanto, mesmo utilizando-se do instrumento e inferindo que a inclinação ótima para o disparo seria 45°, isso não pareceu ter convencido o duque e os

<sup>41</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, 6r. Um canhão situado em A lança um projétil que percorre a trajetória composta pelos segmentos AF, retilíneo, e FB, curvo.

<sup>42</sup> *Ibid.*, *Epistola*. Tartaglia utiliza as medidas "pé" e outras vezes "passo". Um passo correspondia a 5 pés, e um pé a 12 "onças", empregada na região também como medida de comprimento; cf. Masotti, introdução aos *Quesiti*, LXXIII-IV.

artilheiros. Essa talvez seja uma das razões de Tartaglia ter dedicado a *Nova Scientia* ao duque que, provavelmente, além de patrocinador queria também resolver uma disputa entre artilheiros e os "novos métodos geométricos" que estavam em voga naquela época. De fato, isso é notório na descrição feita por Tartaglia sobre uma aposta, ocorrida em 1532, entre dois outros artilheiros, um dos quais era muito amigo daquele que fizera a pergunta a Tartaglia, a qual motivou a elaboração da *Nova Scientia*:

“E cada um deles [referindo-se aos artilheiros] fez o disparo segundo sua proposta, sem nenhuma vantagem da pólvora nem da bala. Como resultado, aquele que disparou de acordo com nossa estimativa, pelo que me foi relatado, atingiu 1972 *pertiche* de seis pés, e o outro, que lançou dois pontos abaixo [30°], atingiu apenas 1872. Por esse motivo, todos os bombardeiros e outros [espectadores] se convenceram de nossa estimativa, embora antes dessa experiência acreditassem, em sua maior parte, no contrário, pois lhes parecia que o canhão estava excessivamente elevado”<sup>43</sup>.

Cabe aqui observar que, provavelmente, a crença de que o melhor ângulo fosse o menor possível estava relacionado ao movimento retilíneo, visto que quanto maior fosse a inclinação do canhão, menor seria o alcance na medida em que o projétil alcançaria uma altura maior. Desse modo, para inclinações menores, o movimento do projétil se aproximaria do retilíneo, tendo assim maior alcance. Desse modo, para resolver a disputa, pois um dos artilheiros acreditava que o maior alcance seria obtido com a inclinação de 30°, realizaram-se os disparos com o auxílio da *squadra* e as medições, constatando que o melhor ângulo era de fato o de 45°.

Mas é preciso aqui considerar que, mesmo que Tartaglia estivesse certo da inclinação ótima, teria de fornecer razões de que um disparo abaixo ou acima desse ângulo não atingiria o alvo com maior alcance. De fato, podemos dizer que o tratamento dado por Tartaglia à trajetória dos projéteis, nessa obra, é de natureza geométrica. Desse modo, ainda que os argumentos do autor pareçam estar longe de ser persuasivos, sua argumentação não se apoiou, ao

---

<sup>43</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*. De acordo com Masotti, Tartaglia empregava as medidas usuais da região do Vêneto e da Lombardia, o que incluía a *pertega*; cf. Masotti, introdução aos *Quesiti*, LXXIII. O que nos interessa aqui naturalmente é a comparação entre os dois lançamentos.

menos explicitamente, no conhecimento dos artilheiros, mas nos de Euclides e Aristóteles, como abordaremos no próximo capítulo.

### 1.3. *Quesiti et Inventioni Diverse*

Como dissemos, diferentemente da *Nova Scientia*, os *Quesiti* foram escritos na forma de diálogos, e foram dedicados a Henrique VIII. A primeira edição saiu das prensas em 1546, seguida de uma segunda, publicada em 1554. Depois da morte do autor publicaram-se ainda duas edições, uma em 1562 e outra em 1606<sup>44</sup>.

Logo no início da dedicatória a Henrique VIII, Tartaglia procurou justificar a forma de diálogo dos *Quesiti*:

"As perguntas, questões ou interrogações, Majestade Sereníssima e Ilustríssima, feitas por sábios e prudentes questionadores, fazem frequentemente o interrogado considerar muitas coisas e conhecer muitas outras, que, sem ser interrogado, jamais conheceria nem consideraria. Isto digo por mim, que nunca trabalhei nem tive predileção por disparar qualquer tipo de artilharia, de canhão, arcabuz, morteiro ou espingarda, nem pretendo fazê-lo (...)"<sup>45</sup>.

Os argumentos apresentados por Tartaglia nesta obra pressupõem o conhecimento dos temas tratados em 1537. Ainda na presente dedicatória, comenta, com mais detalhes do que na *Nova Scientia*, que seu interesse por artilharia foi despertado, em 1531, pela pergunta de um amigo seu de Verona, perito naquela arte.

Acrescenta ainda que publicação da *Nova Scientia* em 1537 foi motivada pela ameaça do Imperador turco Solimão à religião cristã. Tal perigo não se concretizou, contudo Tartaglia voltou ao tema, nos *Quesiti*, porque:

"(...) minha pequena obra despertou o interesse de diversas pessoas, na sua maior parte não de pessoas comuns, mas das de elevado engenho, o que me levou a tratar de muitas outras questões ou interrogações"<sup>46</sup>.

---

<sup>44</sup> Cf. Cuomo, "Shooting by the book", 179, nota 4.

<sup>45</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 4r.

<sup>46</sup> Ibid.



A ordem e os conteúdos dos temas tratados nesta obra trazem fortes indícios de que nos *Quesiti* Tartaglia procurava, além de fornecer aos artilheiros meios de desempenharem melhor sua função, transformar a artilharia numa arte liberal, tornando-a uma dentre muitas outras áreas de conhecimento, não meramente prática. Também é claro nos *Quesiti* a intenção de Tartaglia de apresentá-los conforme a filosofia natural que vinha sendo feita na época e de realçar o caráter de novidade da obra. Na apresentação, os versos que precedem a dedicatória a Henrique VIII, lemos:

"Quem deseja encontrar novas invenções/ não tomados de Platão nem de Plotino/ ou de algum outro grego ou latino/ Mas apenas da arte, [de] medidas e razões/ Leia as questões deste [livro]."

As novas invenções de que fala o autor incluem a *squadra*, cuja finalidade é auxiliar os artilheiros, a tabela dos disparos, para os *condottieri*, à qual faremos referência nos próximos capítulos, e um tratamento das trajetórias segundo a matemática e a filosofia natural.

Vemos outro indício de que Tartaglia procurava fazer da artilharia uma arte liberal na postura do autor de afastar-se do conhecimento próprio dos artilheiros. De fato, desde as primeiras linhas de ambas as obras, o autor afirma nunca ter tido experiência nessa área. Não nos surpreendemos, pois, que após propor sua trajetória dos projéteis nos *Quesiti* Tartaglia considerou oportuno que Francesco dalla Rovere, no final da *Questão I*, afirmasse:

"(...) aquele que emite um juízo de uma coisa cujo 'efeito' ou 'experiência' não viu, na maioria das vezes, engana-se, porque apenas o olho dá testemunho das coisas imaginadas."<sup>47</sup>

Ao que Tartaglia responde: "é verdade que os sentidos (*senso isteriore*) revelam a verdade das coisas particulares, mas não das universais."<sup>48</sup>

Veremos no decorrer desse trabalho que Tartaglia construiu suas argumentações de formas diferentes nas duas obras. Agora ficamos com representação da trajetória dos projéteis defendida nos *Quesiti* (Figura 4):

---

<sup>47</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 7r.

<sup>48</sup> Ibid. 7v.

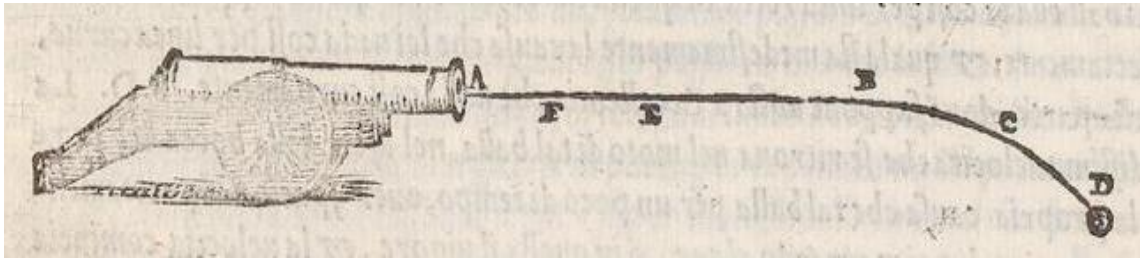


Figura 4: A trajetória apresentada nos *Quesiti*<sup>49</sup>.

Diferentemente da trajetória apresentada na *Nova Scientia*, nos *Quesiti*, Tartaglia procurou mostrar que na curva ABCD nenhum dos segmentos é retilíneo, nem mesmo o inicial AF. Podemos dizer que, aparentemente, Tartaglia parece ter mudado de ideia. A esse respeito, Koyré escreve:

"Tartaglia acrescenta que, se não sustentara essa teoria em sua *Nova Scientia*, foi porque desejava ser compreendido pelas pessoas comuns. É possível. Também é possível - como creio - que suas concepções tenham, entretanto, evoluído"<sup>50</sup>.

Outros autores estão essencialmente de acordo com Koyré, por razões que veremos nos capítulos seguintes. Todavia, Drake, ao comentar um trecho da *Nova Scientia*, observa: "Diz-se frequentemente que Tartaglia não estava ciente deste fato [referindo-se à curvatura da trajetória] na *Nova Scientia*, e o corrigiu apenas nos *Quesiti*. (...)"<sup>51</sup>.

Desse modo, de um lado, alguns estudos parecem apontar para uma ruptura de concepções e, de outro, para uma continuidade na investigação, considerando agora outros aspectos antes ignorados por Tartaglia. Mas para que possamos compreender em que sentido as ideias sobre as trajetórias efetivamente foram alteradas, examinaremos mais de perto essas duas obras, *Nova Scientia* e *Quesiti*.

<sup>49</sup> Ibid., 11v.

<sup>50</sup> Cf. Koyré, 119.

<sup>51</sup> Drake & Drabkin, 84, nota 22.

## CAPÍTULO 2

### As Trajetórias dos Projéteis na *Nova Scientia* e nos *Quesiti et Inventioni Diverse*

#### 2.1 O estudo da trajetória na *Nova Scientia*

A investigação conduzida por Tartaglia foi desencadeada por uma questão de ordem prática. Como mencionamos brevemente, tratava-se de saber qual deveria ser a inclinação do canhão a fim de obter-se o maior alcance possível do projétil no disparo. Além de apresentar argumentos de que inclinação ótima de disparo é a de  $45^\circ$ , Tartaglia se referiu também à possibilidade de chegar obter a uma "regra geométrica". Na *Epistola da Nova Scientia*, ele observa:

“Ainda, Ilustríssimo Senhor, calculando encontrei a proporção do aumento e da diminuição dos disparos feitos por qualquer canhão (*pezzo de artigleria*), elevando-o sobre a linha do horizonte ou abaixando-o. Da mesma forma, encontrei o modo de saber a variação dos disparos (*trovar la varieta di detti tiri*) para qualquer canhão, sabendo o resultado de apenas um disparo, desde que seja sempre igualmente carregado. Depois investiguei a ordem e a proporção dos disparos do morteiro (...) Além disso soube, com razões muito evidentes, que um canhão pode atingir um mesmo local com duas inclinações diferentes, e encontrei o modo de fazer isso acontecer, coisa esta jamais ouvida ou pensada por nenhum antigo ou moderno”<sup>52</sup>.

Os resultados apresentados por Tartaglia nessa obra estavam baseados em "cálculos", procedimentos típicos da geometria e também nos *isperimenti particolari*. Entretanto, ao dirigir-se a seus leitores, Tartaglia lhes apresentou basicamente uma demonstração geométrica de que o maior alcance do projétil seria obtido com a inclinação de  $45^\circ$ , sem fazer referência aos *isperimenti*<sup>53</sup>.

Na *Nova Scientia*, os argumentos apresentados por Tartaglia buscaram articular as noções aristotélicas do movimento com o modelo dedutivo encontrado nos *Elementos* de Euclides. Isso é notório nas quatro primeiras

---

<sup>52</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia, Epistola*.

<sup>53</sup> Sobre a referida demonstração, cf. Tartaglia, *La Nova Scientia*, II, Pr.8.

proposições do Livro I, nas quais Tartaglia discorre sobre as relações entre o aumento e a diminuição da velocidade no lançamento de um projétil. Para explicar o movimento, ele mobilizou as ideias aristotélicas de movimento natural e violento, partindo de definições à maneira de Euclides.

Antes, porém, de tratar dos diferentes tipos de movimento, o Livro I apresenta a definição de "corpo":

"Chama-se corpo igualmente grave aquele que, devido a sua gravidade (*gravita*) e formato, não sofre sensivelmente resistência do ar durante seu movimento"<sup>54</sup>.

É importante aqui considerar que, nesta definição, Tartaglia faz uma restrição, ao observar que os projéteis considerados por ele são "igualmente graves". Como ele explica no comentário a essa definição, projéteis de chumbo, ferro, pedra etc., por sua gravidade, não sofrem ou sofrem menos resistência do ar.

Na definição seguinte, faz referência ao mesmo conceito:

"Chamam-se corpos igualmente graves semelhantes e iguais (*simili et equali*) aqueles em que não há nenhuma diferença substancial nem acidental"<sup>55</sup>.

Ao tratar apenas dos corpos igualmente graves e, na maioria das vezes, dos semelhantes e iguais, excluiu a comparação dos movimentos dos corpos de diferentes formatos, pesos, tamanhos e materiais. Tartaglia evitou, assim, uma questão que viria a ser da maior importância para a filosofia natural até Galileu, pois não procurou a relação entre o peso do corpo e a velocidade de queda, o que seria feito por Benedetti, seu aluno<sup>56</sup>.

Definido o que vem a ser um corpo, o Livro I passa a discorrer sobre os diferentes movimentos. Para isso, o autor define inicialmente os movimentos natural e violento, seguindo de perto as concepções aristotélicas. O movimento natural de um corpo igualmente grave é definido como "(...) aquele que se faz de um local superior a um inferior numa perpendicular, sem ação de uma

---

<sup>54</sup> Ibid., I, Def. 1, 1r.

<sup>55</sup> Ibid., I, Def. 2, 1r.

<sup>56</sup> Koyré vê nessa postura de Tartaglia certo positivismo *avant la lettre*; cf. Koyré, 108. Já mencionamos que a razão é outra, deve-se à atividade de maestro d'abaco exercida por Tartaglia.

potência movente"<sup>57</sup>. E o movimento violento, como: "(...) aquele que se faz sob ação de alguma potência movente, de baixo para cima, de cima para baixo ou de um lado para outro"<sup>58</sup>.

Podemos dizer que Tartaglia considerava o movimento natural apenas aqueles que se realizavam em linha reta, tais como os que ocorrem em queda livre. Esse movimento seria natural porque não dependeria de um agente externo ao grave para sua realização, como no movimento que a pedra realiza ao ser solta do alto de uma torre.

Diferentemente, o movimento violento depende de um agente, isto é, de uma "potência movente" para poder ocorrer. Esse agente podia ser o impulso dado pela mão a um objeto, quando é lançado, ou aquele dado pelo canhão quando lança um projétil.

É interessante notar que a Tartaglia só interessava o movimento local. Em seu comentário à quinta definição, acrescenta de passagem que segundo Aristóteles e seus comentadores há outras formas de mudança e movimento, mas "(...) destas espécies ficamos com a última apenas [a do movimento local], porque as outras não se enquadram em nosso propósito."<sup>59</sup> Temos já no início da obra uma postura que será a mesma dos *Quesiti*, influência de sua atividade como maestro d'abaco, como dissemos acima.

Feitas essas e outras definições, o Livro I apresenta as relações entre as velocidades do corpo e a distância percorrida, o que é exposto nas quatro primeiras proposições. As duas primeiras estabelecem relações entre o aumento e a diminuição da velocidade ao deixar-se cair um corpo, "corpo igualmente grave", no caso de Tartaglia. Assim, a primeira proposição afirma: "Todo corpo igualmente grave, em movimento natural, quanto mais longe do seu ponto de partida ou próximo do fim, será mais veloz"<sup>60</sup>. E a segunda:

---

<sup>57</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, Def. 6, 2r. .Mais adiante o autor definirá "potência movente": "Chama-se potência movente (*possanza movente*) qualquer máquina artificial (*artificial machina over materia*) apta a lançar violentamente um corpo igualmente grave pelo ar"; *Ibid.*, Def. 13, 2v. Para Aristóteles a força motriz que põe em movimento um corpo é diretamente proporcional à velocidade adquirida pelo corpo, ou, nos termos do filósofo, para uma mesma distância percorrida, o corpo se desloca proporcionalmente em menor tempo, o que também é válido para Tartaglia; cf, Grant, *Os Fundamentos da Ciência Moderna*, 61-2.

<sup>58</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, Def. 7, 2r.

<sup>59</sup> *Ibid.*, 2r.

<sup>60</sup> *Ibid.*, I, Pr. 1, 4r.

“Todos os corpos igualmente graves semelhantes e iguais partem, no início de seus movimentos, com igual velocidade, mas chegando ao final de seus movimentos, aquele que tiver percorrido maior espaço será mais veloz”<sup>61</sup>.

Contudo, antes de analisarmos a primeira proposição da *Nova Scientia*, convém notar o método empregado pelo autor ao longo da obra. Claramente encontramos uma forma análoga de argumentação nos *Elementos* de Euclides: os teoremas são construídos a partir de definições, postulados e sentenças comuns (ou axiomas).

Um axioma devia ser evidente e comum às áreas do conhecimento ("as coisas iguais à mesma coisa são também iguais entre si", "o todo é maior do que a parte", presentes nos *Elementos*, mas não restritos à geometria); já um postulado deveria pertencer apenas a certo estudo particular ("estática", aritmética, geometria, como poder "traçar uma reta a partir de todo ponto até todo ponto", exemplo outra vez tomado dos *Elementos*).<sup>62</sup>

Além das definições que vimos acima, Tartaglia utilizou na *Nova Scientia* suposições e sentenças comuns. Para exemplificar, citamos a primeira sentença comum:

"Em movimento natural, quanto maior a altura de que parte um corpo igualmente grave, maior será o efeito em um resistente. Mas é importante advertir que a altura é entendida com respeito ao resistente"<sup>63</sup>.

O autor optou por relacionar em suas sentenças comuns a distância percorrida pelo projétil e o efeito causado sobre um "resistente". Já a primeira suposição da *Nova Scientia* traz:

"Supõe-se que um corpo igualmente grave em toda parte do movimento (*in ongi movimento*) se desloca mais rapidamente

---

<sup>61</sup> Ibid., Pr. 2, 5r.

<sup>62</sup> Na verdade, há divergências entre os manuscritos dos *Elementos*, alguns trazem postulados e axiomas juntos, pois a distinção entre sentença comum (ou axioma) e postulados acima apresentadas são apenas de Aristóteles, e não sabemos se Euclides a adotou; cf. Boyer, 115-7.

<sup>63</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, S.C. 1, 3v. Logo abaixo o autor definirá: "Chama-se resistente qualquer corpo fixo que ofereça resistência a um corpo igualmente grave em alguma parte do seu movimento."; Ibid., I, Def. 9, 2v.

onde faz ou faria (por sentença comum) maior efeito em um resistente"<sup>64</sup>.

Como vemos por aqui, as suposições relacionam velocidade e "efeito", o que nos esclarece o critério utilizado pelo autor para diferenciar uma sentença comum de uma suposição. Podemos passar agora à primeira proposição da *Nova Scientia*, acima apresentada Na esteira da filosofia natural aristotélica, Tartaglia observa que, no caso do movimento natural, e notoriamente no caso da queda de um corpo, a sua velocidade aumentaria na medida em que o grave se aproximava do solo. Essa proposição foi demonstrada por Tartaglia a partir de um caso enunciado da seguinte maneira:

"Exemplo: sejam três alturas diferentes A, B e C, em linha reta como aparece abaixo [Figura 5]. Deixe-se cair da altura A um corpo igualmente grave, que, sem dúvida, não encontrando resistência, se deslocaria em movimento natural até se chocar com a terra, fazendo seu caminho similar ao da linha DEFG"<sup>65</sup>.

---

<sup>64</sup> Ibid., I, Sup. 1, 3r. Tartaglia relaciona o efeito com *offensione, over percussione over il bucco* (ou o buraco); Ibid., Def. 10. Alguns autores acreditam que Tartaglia conhecia os *Problemas Mecânicos* por essa passagem que relaciona movimento de um corpo e percussão, como na questão 19 do tratado por longo tempo atribuído a Aristóteles; cf. Aristóteles, *The Complete Works*, 2: 1317.

<sup>65</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, 4r.

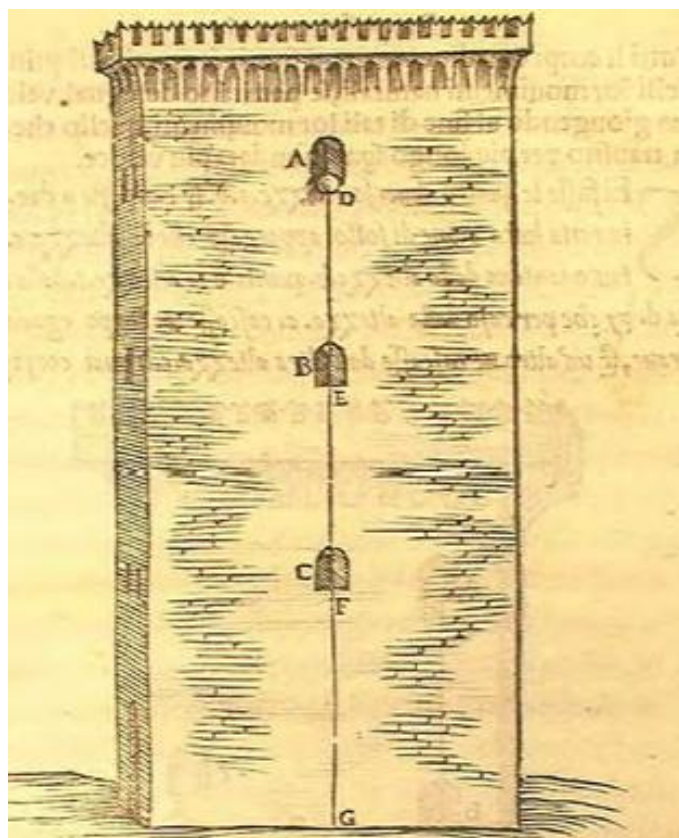


Figura 5: A trajetória de um corpo em movimento natural, partindo da altura A<sup>66</sup>.

Para demonstrar essa proposição, Tartaglia mobilizou a primeira sentença comum da obra acima referida. Por isso, o autor pode afirmar que o efeito sobre um resistente é maior em C que em B (Figura 5), pois o que deve ser considerado é a distância relativa entre as alturas<sup>67</sup>. Tartaglia explica, na primeira proposição:

"Digo que o movimento do corpo seria tal que quanto mais se afasta do princípio [do movimento] (isto é, do instante ou ponto D) ou se aproximando do final (isto é, do instante ou ponto G), tanto maior seria a velocidade. Isso acontece porque, pela primeira sentença comum, o corpo nesse movimento faria um maior efeito sobre um resistente que estivesse na altura C que na B. Seguiria então que tal corpo (pela primeira suposição) seria mais veloz por EF que por DE"<sup>68</sup>.

<sup>66</sup> Ibid., I, 4v.

<sup>67</sup> Drake comenta, nessa passagem, que a aceleração seria de particular importância já para Benedetti, e ainda que, para Tartaglia, não há dúvidas que o aumento da velocidade está relacionado com o espaço percorrido ou a percorrer; Drake & Drabkin, 74-5, nota 17.

<sup>68</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, 4r.



Podemos observar nessa proposição que “aproximar-se do fim” e “afastar-se do começo” são equivalentes. Logo em seguida, Tartaglia serve-se da seguinte analogia, na esteira da filosofia aristotélica: “quando um peregrino está mais perto do lugar desejado ou mais distante de sua região de partida, mais rápido caminha, por esforçar-se mais para chegar a seu objetivo”<sup>69</sup>.

Notemos, por último, que Tartaglia considera a velocidade em queda livre como proporcional ao tempo ou ao espaço percorrido, a qualquer um dos dois. Mais adiante, ao falar do movimento violento, acontece o mesmo, a velocidade é inversamente proporcional ao tempo ou ao espaço<sup>70</sup>.

O procedimento dedutivo empregado por Tartaglia permite encadear as proposições uma a uma. Assim, a segunda proposição, tal como mencionamos anteriormente, pode ser deduzida da primeira, e essas duas, dedutivamente, podem servir de “teoremas” para as subsequentes.

Depois de tratar, na segunda proposição, também do movimento natural, Tartaglia, no Livro I, discorre sobre movimento violento. Como já mencionamos, este movimento se refere àquele do projétil que um artilheiro dispara com um canhão. Dessa forma, diferentemente do que foi exposto a respeito do movimento natural, no movimento violento, a terceira proposição afirma que:

“Quanto mais um corpo igualmente grave afastar-se do início ou aproximar-se do final do seu movimento violento, tanto mais lento se deslocará (*tanto piu andara pigro e tardo*)”<sup>71</sup>.

Não nos deteremos demasiadamente a esse respeito aqui, pois, mais adiante, ao tratarmos da representação da trajetória dos projéteis, teremos uma melhor compreensão dessas proposições iniciais e de como elas se combinam para compreender o disparo de um canhão. Basta observar que, em termos

---

<sup>69</sup> Ibid., I, 4r-v. Como observa Koyré, logo Benedetti se mostrou contrário a essa identificação; Koyré, 109. Nessa passagem da *Nova Scientia* temos uma das poucas diferenças significativas entre as duas edições. Apenas na de 1550, antes dos dois corolários, o autor insere uma consideração sobre a permanência ou não do movimento, dada a possibilidade de um corpo em movimento natural chegar ao centro da Terra.

<sup>70</sup> Drake comenta, nessa passagem, que a aceleração seria de particular importância já para Benedetti. Para Tartaglia, não há dúvidas que o aumento da velocidade está relacionado com o espaço percorrido ou a ser percorrido; Drake & Drabkin, 74, nota 17. Afirmações semelhantes às de Tartaglia podem ser encontradas em Buridan, da Vinci, e ainda em Galileu; Grant, *Physical Sciences*, 54-5.

<sup>71</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, I, Pr. 3, 5v.

bastante tradicionais, Tartaglia observa que este movimento teria efeitos contrários àqueles do movimento natural.<sup>72</sup>

Mas além dos movimentos natural e violento, o Livro I discorre sobre a possibilidade de um movimento misto. Tartaglia descartou a possibilidade de sua existência na quinta proposição, afirmando que:

“Nenhum corpo igualmente grave pode deslocar-se por certo espaço de tempo ou de lugar com movimento misto ao mesmo tempo natural e violento (*di moto naturale e violento insieme misto*)”<sup>73</sup>.

Cabe observar que, naquela época, a existência de um movimento misto não era em geral compartilhada pelos estudiosos da natureza. Para muitos aristotélicos, só dois movimentos eram possíveis, o movimento natural e o violento. Os corpos em movimento natural podiam mover-se para cima ou para baixo, os corpos absolutamente pesados se moviam naturalmente para baixo, ao passo que os absolutamente leves, para cima. Desta forma, os corpos tendiam para o seu lugar natural, sendo que os corpos pesados tendiam para centro da Terra enquanto os leves, para longe dele.

Mas além desses dois movimentos, para cima e para baixo, havia outro movimento considerado natural pelo filósofo, a saber, o circular. Este, entretanto, só dizia respeito aos corpos celestes que giravam em movimento circular em torno da Terra. Quanto ao movimento violento, entravam nessa categoria todos os outros movimentos de corpos que não se deslocavam até seu lugar natural<sup>74</sup>.

Depois de vistas as primeiras cinco proposições do Livro I da *Nova Scientia*, esperaríamos que a trajetória proposta fosse aquela comumente apresentada. Contudo, quando observamos a que foi discutida na *Nova Scientia*, somos surpreendidos com a imagem fornecida por Tartaglia (Figura 6):

---

<sup>72</sup> Na Prop. IV também temos um resultado contrário ao do natural: “Todos os corpos igualmente graves semelhantes e iguais chegando ao final de seu movimento violento terão a mesma velocidade, e aquele que percorrer mais espaço partiu mais veloz no início de seu movimento”; *Ibid.*, I, Pr. 4, 6v.

<sup>73</sup> *Ibid.*, I, Pr. 5, 7r.

<sup>74</sup> Grant, *Physical Science*, 36-38. Ainda segundo Grant, apesar de Aristóteles tratar frequentemente o tema do movimento local, não o faz de forma sistemática. Para estudos sobre o movimento em Aristóteles na *Física* e no *De caelo*, cf. Grant, *Physical Science*, Capítulo IV; Ross, *Aristotle*, 81-3 e 95-99.

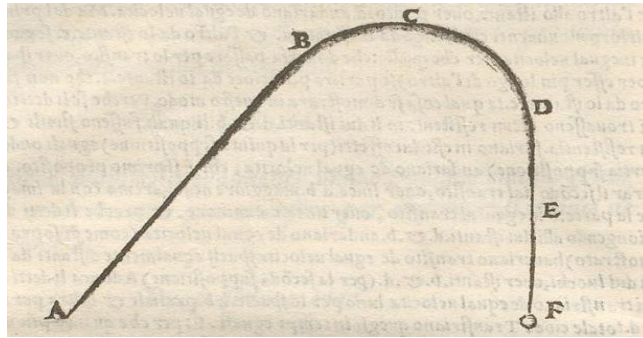


Figura 6: A trajetória dos projéteis no Livro I da *Nova Scientia*<sup>75</sup>.

Trata-se da descrição da trajetória que faria o projétil ao ser lançado a partir do ponto A. Se considerarmos essa trajetória, poderíamos concluir, com Koyré, que apesar de a "dinâmica" de Tartaglia ser completamente tradicional, tanto a abordagem *more geometrico* como a forma de representar a trajetória não são tradicionais<sup>76</sup>.

Com efeito, poderíamos esperar que a trajetória proposta por Tartaglia, ao negar a possibilidade do movimento misto, fosse angular, ou seja, composta por duas retas. Como bem observa Koyré, Tartaglia com toda probabilidade incluiu a parte curva em movimento violento (BD) na *Nova Scientia* por aceitar a trajetória dos artilheiros, o que o levou a introduzir outros conceitos com a finalidade de explicar a curvatura<sup>77</sup>.

A impossibilidade do movimento misto que, se admitida, poderia explicar tal curvatura, decorre da definição dos movimentos assumida por Tartaglia na sua obra. Para provar essa proposição, o autor lança mão apenas das proposições 1 e 3, "supondo" que CD (Figura 6) seja uma parte da trajetória em movimento misto. A partir disso, ele observa:

"Seguiria então que dito corpo [tendo partido de A] se deslocaria de C até D com aumento de velocidade, se participasse nessa parte [da trajetória] do movimento natural, e,

<sup>75</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, 7v. Neste ponto A, está localizado um canhão ou, de forma genérica, uma "potência movente" (*possanza movente*) que lança o projétil pela trajetória ABCDEF. Como observa Ekholm, a maneira com que Tartaglia e os estudiosos medievais de Paris e Oxford utilizavam imagens difere de forma significativa: enquanto os medievais representavam magnitudes abstratas, Tartaglia procurava representar o caminho físico do projétil; cf. Ekholm, 194, nota 45.

<sup>76</sup> Koyré, 112-3.

<sup>77</sup> *Ibid.*, 113-4.

da mesma forma, que diminuiria sua velocidade, se também participasse do movimento violento"<sup>78</sup>.

O que seria impossível, considerando-se as proposições antes demonstradas, porque ao mesmo tempo o corpo igualmente grave estaria aumentando e diminuindo sua velocidade. Ao comentar essa passagem, Drake observa que Tartaglia considerava aumento e diminuição das velocidades como propriedades essenciais dos movimentos natural e violento, respectivamente. Daí a impossibilidade de um terceiro movimento que combine os outros dois.<sup>79</sup>

Tendo em consideração a trajetória apresentada (Figura 6), Tartaglia avalia três possibilidades que foram examinadas na *Nova Scientia*:

- o grave percorre sua trajetória em movimento violento, o que, segundo o autor, pode acontecer apenas em dois casos, se o projétil for lançado a um ângulo de 90° com a horizontal, acima ou abaixo dela;<sup>80</sup>
- o grave percorre a trajetória apenas em movimento natural, o que acontece sem ação de uma "potência movente", como na queda livre de um corpo;<sup>81</sup>
- o grave percorre sua trajetória em movimento que é em parte violento e em parte natural, o que ocorre no lançamento de um corpo para cima.

Tartaglia se propõe a examinar esta terceira possibilidade de movimento no Livro II da *Nova Scientia*. Mas antes de discorrermos a esse respeito, existe ainda uma questão, decorrente do que expomos até aqui a respeito do movimento misto: como há somente dois movimentos (natural e violento), em qual parte da trajetória (ABDF) ocorre a passagem do movimento violento ao natural? Tartaglia se questiona se isso ocorreria em B, C ou D. Com o objetivo de responder a essa questão, Tartaglia acrescentou a sexta e última proposição ao Livro I:

“Todo resistente sofrerá o menor efeito de um corpo igualmente grave lançado violentamente pelo ar naquele instante que

---

<sup>78</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, 7r-v.

<sup>79</sup> Drake & Drabkin, 80, nota 20.

<sup>80</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, II, Sup. III, 11r.

<sup>81</sup> *Ibid.*, I, Def. VI, 2r.

distingue o movimento violento do natural do que em qualquer outro lugar”<sup>82</sup>.

Isso acontece porque, dada a inexistência do movimento misto, o natural só pode começar quando terminar o violento, ou seja, a velocidade no movimento violento deve ser nula<sup>83</sup>. Vimos que a velocidade do projétil em movimento violento diminui continuamente, por isso a velocidade em B é menor que em A, por exemplo; no que se refere ao natural, a velocidade sempre aumenta, por isso a velocidade em F é maior que em E.

Vale lembrar que Tartaglia admitiu apenas a possibilidade de um movimento natural em linha reta de cima para baixo, o que implica em que o segmento circular deve ser percorrida em movimento violento. Portanto, se considerarmos a trajetória (Figura 6), podemos dizer que o movimento do projétil no trecho DF é natural e no trecho AD, violento. De fato, segundo Tartaglia:

“(...) se o resistente fosse colocado no ponto C ou E, sofreria maior efeito que estando em D, pois o corpo se deslocaria com maior velocidade pelo ponto C (estaria em movimento violento) e pelo ponto E (estaria em movimento natural) do que pelo D; o que é o propósito”<sup>84</sup>.

O Livro II da *Nova Scientia* discorre sobre a trajetória do projétil considerando-a em duas partes. A primeira parte diz respeito ao movimento violento que seria composto por uma reta e por uma curva; a segunda, ao movimento natural, representada apenas por uma reta, sendo esta vertical. Para tratar dos casos possíveis dessa combinação de movimentos, Tartaglia apresentou uma série de imagens e proposições em que procurou dar conta dos lançamentos de projéteis feitos nas mais diferentes inclinações (à exceção, claro, daquele feito com a de 90°).

Abaixo, apresentamos uma dessas imagens em que um canhão situado em A lança um projétil que descreve a trajetória AEF. Nessa imagem, o segmento AE representa a parte retilínea da trajetória em movimento violento;

---

<sup>82</sup> Ibid., I, Pr.6, 7v.

<sup>83</sup> A velocidade em movimento violento é menor em seu final do que em qualquer momento anterior, porque é no final do movimento que o projétil causa menor efeito sobre um resistente; Ibid., I, Pr. 4, 6v.

<sup>84</sup> Ibid., II, 7v-8r.

EF, a parte de uma circunferência também em movimento violento; e FG, o movimento natural que é retilíneo (Figura 7).

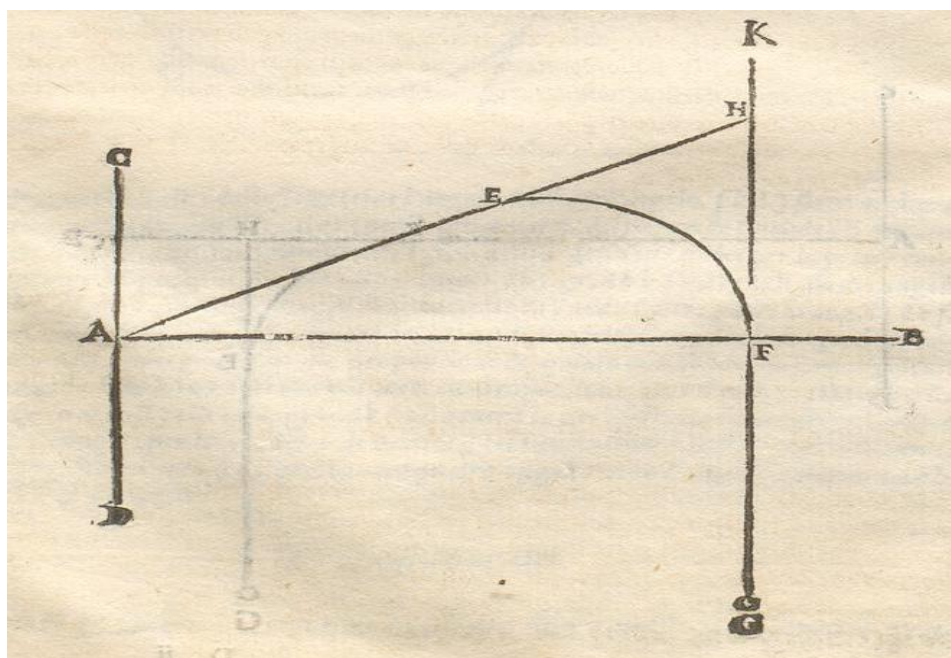


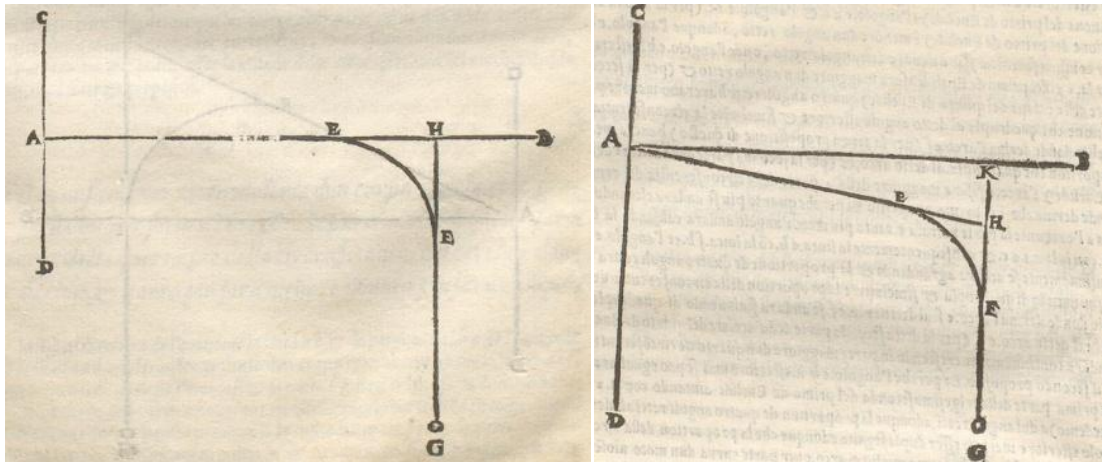
Figura 7: Trajetória discutida no Livro II da *Nova Scientia*: lançamento realizado acima da linha AB<sup>85</sup>.

A fim de dar conta das possíveis trajetórias dos projéteis, Tartaglia tomou as retas, perpendiculares entre si, AB e CD, que foram nomeadas, respectivamente, "semidiâmetro do horizonte" e "linha perpendicular ao horizonte".<sup>86</sup> Tartaglia imagina aqui um plano, chamado "plano do horizonte", que passa pelo centro (A) do projétil lançado, dividindo-o ao meio. A linha "perpendicular ao horizonte" também passa pelo centro do projétil e se estende até o centro da Terra. O disparo do projétil é realizado acima da linha AB, sob o ângulo CAE, ou, nos termos de Tartaglia, "acima da linha do horizonte".

Além dessa, o Livro II traz duas outras imagens que estão reproduzidas na figura 8a e 8b. Tal como na figura acima, os trechos AE e EF representam o movimento violento, e o FG, o natural (Figura 8).

<sup>85</sup> Ibid., II, 14v.

<sup>86</sup> Ibid., II, Def. 5 e 6, 9v.



Figuras 8a e b: Trajetórias discutidas no Livro II da *Nova Scientia*, lançamentos sobre (a) e abaixo (b) de AB<sup>87</sup>.

É provável que Tartaglia tenha considerado importante tratar separadamente essas três trajetórias por questões geométricas, visto que dedicou a cada uma delas uma proposição. Além disso, é importante aqui considerarmos que o que distingue essas três trajetórias é o ângulo de disparo (CAE), responsáveis por fazer os segmentos EF serem maiores ou menores<sup>88</sup>.

Entre as suposições que Tartaglia acrescentou ao Livro II, duas são especialmente importantes para compreendermos as trajetórias: qual motivo AE ser uma reta, e por que Tartaglia acreditava poder considerar a curva EF um arco de uma circunferência?

Na primeira suposição do Livro II, Tartaglia afirma:

“Todos os percursos ou movimentos naturais de corpos igualmente graves são equidistantes entre si e também em relação à perpendicular ao horizonte”<sup>89</sup>.

A suposição nos diz que dois corpos deixados cair lado a lado, em movimento natural, teriam suas trajetórias paralelas. Assim, pelo mesmo motivo, as retas CD ("perpendicular ao horizonte") e KG deveriam ser paralelas. Contudo, como mencionamos, a reta CD se estende até o centro da Terra, visto que os corpos graves, segundo os aristotélicos, tendem naturalmente ao centro do universo. Portanto, as retas CD e KG não podem ser

<sup>87</sup> Ibid., II, 14r e 15v.

<sup>88</sup> O autor trata de cada um desses casos nas proposições IV, V e VI.

<sup>89</sup> Ibid., II, Sup.1, 10v.

paralelas. Tartaglia estava ciente do problema, como fica claro em sua observação:

“(...) apesar disso, por ser um erro imperceptível (*insensibile*) em um pequeno espaço, [as trajetórias] serão consideradas equidistantes entre si e também à perpendicular ao horizonte [CAD]”<sup>90</sup>.

Convém observar que essa suposição, importante para Tartaglia poder geometrizar a trajetória, não suscitava grandes problemas a ele, uma vez que seus contemporâneos podiam encontrá-la nos trabalhos de Arquimedes e de Jordanus de Nemore.<sup>91</sup> Problema tem o autor, contudo, para justificar a segunda suposição, enunciada por ele da seguinte maneira:

“Todo movimento violento de corpos igualmente graves que não seja pela perpendicular ao horizonte [CD] será sempre em parte reto e em parte curvo, e a parte curva será parte de uma circunferência”<sup>92</sup>.

Essa suposição apenas não suscita problemas no caso em que o disparo do canhão é feito para cima [AC] ou para baixo [AD], visto que, com inclinação de 90°, a trajetória do movimento natural pode ser completamente reta. Em todos os outros casos, entretanto, as trajetórias seriam curvas, como representados pelas figuras acima.

Essas suposições, provavelmente, foram consideradas por Tartaglia para que o leitor aceite que: 1) o trecho AE pode ser admitido como retilíneo; 2) a curva (AE) poderia ser considerada arco de uma circunferência. Isso porque Tartaglia estava ciente das possíveis objeções, e para tentar justificá-las acrescentou:

"Na verdade, nenhum percurso ou movimento violento de um corpo igualmente grave pode ter, fora da perpendicular ao horizonte [o disparo segundo inclinação de 90°], alguma parte que seja perfeitamente reta, devido à 'gravidade' (*gravita*) que se encontra em tal corpo, a qual continuamente o puxa (*lo va*

---

<sup>90</sup> Ibid., II, 10v. Ekholm, com base nessa suposição, acredita que Tartaglia conhecia algum tratado de Arquimedes já em 1537; Ekholm, 182.

<sup>91</sup> Em Arquimedes, essa suposição aparece em *Sobre o Equilíbrio dos Planos*, *Sobre a Quadratura da Parábola* e *Sobre o Método*, mas este último tratado, ao contrário dos dois primeiros, viria a ser reencontrado séculos depois do Renascimento; Clagett, 223-4.

<sup>92</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, II, Sup.2, 10v.



*stimulando et tirando*) em direção ao centro do mundo. Apesar disso, vamos supor reta aquela parte que é insensivelmente curva, e aquela evidentemente curva suporemos parte de uma circunferência de círculo, pois não se afastam [daquelas linhas] de forma sensível<sup>93</sup>.

É interessante a aproximação entre as duas suposições acima: em ambas o desvio seria imperceptível (*insensibile*), o que justificaria, para Tartaglia ao menos, esta segunda suposição, por considerar ser análoga à primeira.

Notemos também que o autor não apresentou nenhuma razão para que, de um determinado momento em diante no movimento violento (AF), a curvatura se acentue e se aproxime de uma circunferência. A esse respeito, Koyré comenta que Tartaglia se valeu de uma simplificação prática, não de uma abstração teórica. Sem essa "simplificação prática", entretanto, Tartaglia não poderia tratar de forma geométrica a trajetória dos projéteis, o que é afinal aquilo que mais chamou a atenção de Koyré na *Nova Scientia*<sup>94</sup>.

Mas a intenção de Tartaglia não era apenas dar um tratamento essencialmente geométrico, como vemos mais adiante. Outras questões concernentes à filosofia natural também faziam parte das reflexões de Tartaglia. O tratamento geométrico dado à trajetória na *Nova Scientia* fazia parte, provavelmente, de um percurso investigativo para chegar-se a uma "regra geral", tal como já mencionamos. De fato, considerando as proposições do Livro II, notamos que elas avançam e denotam a intenção de Tartaglia de chegar a relações geométricas mais gerais.

Assim, na terceira proposição do Livro II, Tartaglia afirma:

"Se duas retas que formam um ângulo entre si são tangentes a um círculo, e prolonga-se uma delas além do ângulo, a circunferência do círculo terá a mesma razão para o arco interceptado que quatro ângulos retos para o ângulo exterior formado pelas retas prolongadas"<sup>95</sup>.

O arco da circunferência (DEF) é delimitado pelo ângulo DKF, e o ângulo exterior referido é o DBH (Figura 9). Com base nos teoremas encontrados nos *Elementos*, Tartaglia pôde provar que a circunferência de todo o círculo DEFG

---

<sup>93</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, 11r.

<sup>94</sup> Cf. Koyré, 113-4.

<sup>95</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, II, Pr.3, 13r.

está para o segmento DEF assim como quatro ângulos retos para o ângulo DBH<sup>96</sup>.

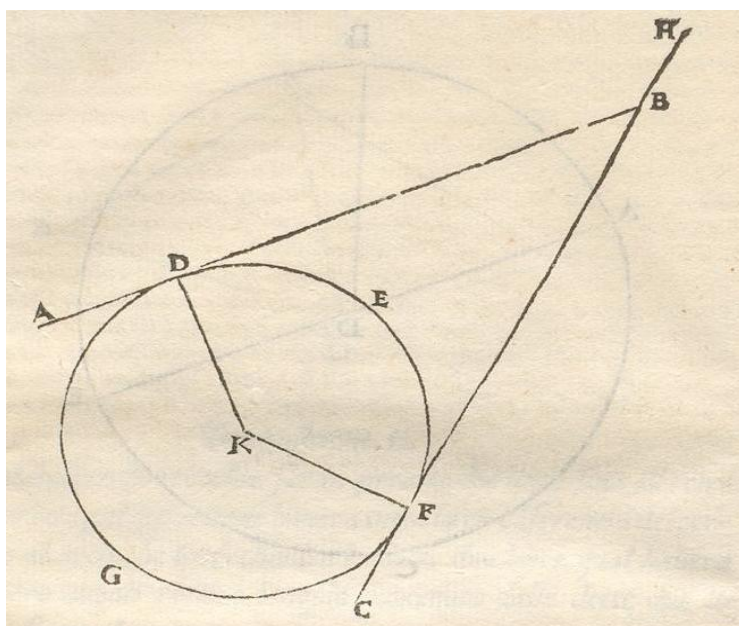


Figura 9: Terceira proposição do Livro II<sup>97</sup>.

Por essa proposição vemos que a principal dificuldade de Tartaglia, para descrever a trajetória, era traçar retas tangentes ao arco da circunferência, isto é, AE e FG (Figura 7, acima), o que não constitui um grande problema, pois AE e FG estão de alguma maneira ligadas ao segmento de um círculo (EF)<sup>98</sup>.

Assim, na Proposição 5 do Livro II, Tartaglia estabelece a relação entre o ângulo em que se faz o disparo (CAE) e o comprimento da parte curva da trajetória (EF):

"Se o movimento violento de um corpo igualmente grave for elevado acima da linha do horizonte, a parte curva da trajetória será maior que a quarta parte da circunferência de que deriva, e quanto mais elevado, tanto maior será que a quarta parte, mas nunca poderá ser a metade da circunferência"<sup>99</sup>.

Dessa forma, quanto menor o ângulo CAE, maior o segmento da circunferência. Mas é preciso aqui imaginar um círculo cujo segmento EF

<sup>96</sup> Ibid., II, 13r-v.

<sup>97</sup> Ibid., II, 13v.

<sup>98</sup> A fim de encontrar as retas tangentes à EF, o autor utilizou uma definição e uma suposição; cf. Tartaglia, *La Nova Scientia*, II, Def. 3, 9r e Sup. 3, 11r.

<sup>99</sup> Ibid., II, Pr.5, 14v.

representa a parte circular da trajetória do movimento violento. Depois de alguns procedimentos geométricos Tartaglia demonstrou essa proposição utilizando os teoremas dos *Elementos*<sup>100</sup>.

A esse respeito, vale lembrar que na Figura 7 Tartaglia prolongara a reta AE, trecho correspondente ao movimento violento, e FG, correspondente ao movimento natural, até se encontrarem no ponto H. Além disso, as retas CD e KG são paralelas pela suposição do Livro II e as retas prolongadas AH e KG são tangentes ao arco da circunferência EF, cuja trajetória é percorrida em movimento violento.

Podemos dizer que, com esse procedimento, Tartaglia extraía as relações geométricas desejadas, aplicadas também às trajetórias da Figura 8. Isso significa que o objetivo da *Nova Scientia* não se restringia a apresentar ao *Signor Francesco dalla Rovere* alguns resultados úteis aos artilheiros, visto que muitas das proposições não têm a menor aplicação prática<sup>101</sup>. Assim, mais do que buscar resolver um problema prático, a abordagem geométrica dada às trajetórias na *Nova Scientia* por Tartaglia aponta para as possíveis articulações entre matemáticas e filosofia natural manifestadas no século XVI. Como veremos a seguir, o exame das trajetórias dos projéteis considerava também as razões e os princípios de filosofia natural.

## 2.2 O estudo da trajetória dos projéteis nos *Quesiti*

Nos *Quesiti* notamos que Tartaglia buscou ampliar os estudos sobre os projéteis iniciado na *Nova Scientia*. No resumo que apresenta do primeiro livro, ele observa que seu objetivo é tratar: "(...) dos disparos e dos efeitos das artilharias, de acordo com as diferentes elevações e com as várias posições das miras, com outros 'acidentes' estranhos."

Chamamos a atenção para o fato de que Tartaglia menciona alguns resultados obtidos na *Nova Scientia* e a eles se refere muitas vezes em suas novas discussões. No que diz respeito às trajetórias, nos *Quesiti* são

---

<sup>100</sup> Ibid., II, 14v-15r.

<sup>101</sup> Para Cuomo, o tratado é, antes de mais nada, um tratado de matemática aplicada a um fenômeno físico; Cuomo, "Shooting by the book", 155.

consideradas totalmente curva. Tartaglia procurou justificar a ausência dessas considerações na obra de 1537, uma vez que a curvatura se torna o principal tema de suas discussões:

"*Signor* duque: Por que dissestes então [na *Nova Scientia*] "em linha reta", não sendo perfeitamente retilínea? Tartaglia: Para ser compreendido pelas pessoas comuns, porque aquela parte insensivelmente curva as pessoas dizem que é reta, e aquela evidentemente curva, que é curva"<sup>102</sup>.

As discussões sobre as trajetórias dos projéteis estão contidas principalmente na *Questão III* dos *Quesiti*, mas incluem também a de número dois, pois o autor introduz alguns conceitos úteis para tratar da trajetória dos projéteis. Nas três primeiras questões dos *Quesiti* Tartaglia dialoga com Francesco Maria dalla Rovere, a quem a *Nova Scientia* havia sido dedicada.

Tartaglia procura mostrar que na curva ABCD nenhum dos segmentos (AF, FE, EB, BC e CD) é retilíneo, nem mesmo o inicial AF.

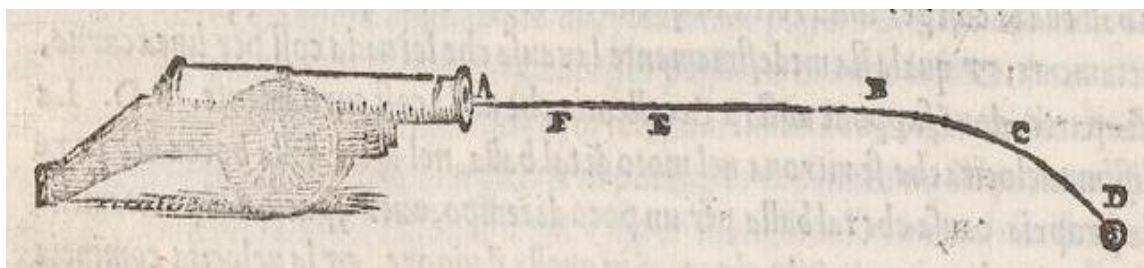


Figura 10: A trajetória discutida na *Questão III*<sup>103</sup>.

Diferentemente da *Nova Scientia*, as discussões sobre a trajetória apresentada nos *Quesiti* se dirigem ao movimento violento.<sup>104</sup> Desse modo, retomando as questões já discutidas anteriormente, o *Signor dalla Rovere* inquire Tartaglia da seguinte maneira:

"Mas na vossa argumentação [na *Questão II*] me deixastes com outra dificuldade ou dúvida maior, porque, se bem vos recordais, dissestes que um projétil lançado por alguma

<sup>102</sup> Cf. Tartaglia, *Quesiti*, 10r.

<sup>103</sup> Ibid., 11v. Para facilidade de consulta, repetimos a figura apresentada no Capítulo 1.

<sup>104</sup> Henninger-Voss sugere que o abandono dessa distinção, ao menos em parte, foi resultado de uma troca de cartas ocorrida entre Cardano e Tartaglia; Henninger-Voss, "How the 'New Science' of Cannons", 384-5.

artilharia, em nenhuma parte de seu movimento se desloca em linha reta, senão quando lançado em linha reta para cima, na direção do céu" <sup>105</sup>.

Tartaglia faz, então, uma pequena observação: "Ou para baixo, em direção ao centro da Terra"<sup>106</sup>. Quanto a esses dois casos, Francesco dalla Rovere concede de bom grado, mas um tanto atônito prossegue o duque: "Mas que em nenhuma outra direção além dessas duas [o projétil] se desloque retamente, durante seu movimento, não me parece crível, nem eu acredito"<sup>107</sup>.

Devido à observação feita por Tartaglia também num exemplo da *Questão II*, o duque mais uma vez concede: "(...) alguma parte da trajetória de 200 passos pode, de fato, ser encurvada, mas pelo menos 100 ou 50 têm de ser em linha reta"<sup>108</sup>.

Aquilo que dalla Rovere tem em mente é sem dúvida o início da trajetória (AB), que parece ser uma reta ao observador do disparo. Então, além de existir uma trajetória retilínea nos casos dos disparos feitos com inclinação de 90°, em todos os casos de disparo deveria haver alguma parte do movimento natural em linha reta, o que havia sido tratado na *Nova Scientia*.

Para imensa surpresa de dalla Rovere, Tartaglia afirma que não será retilínea sequer por um passo, e pergunta ao duque qual seria a "causa próxima" (*causa propinqua*) de a trajetória ser parcialmente retilínea e depois se encurvar. O *Signor* dalla Rovere justifica:

"É a grande velocidade que se encontra no movimento do projétil, ao sair da boca do canhão, a causa de por algum tempo ou espaço deslocar-se em linha reta pelo ar; depois, faltando nele o 'vigor' (*vigore*), a velocidade começa a diminuir e o corpo começa a inclinar-se mais e mais em direção à terra, até se chocar contra ela" <sup>109</sup>.

Devemos aqui observar os novos termos utilizados por Tartaglia, ausentes na obra de 1537: apresenta a contínua falta de vigor como a causa da curvatura. Nesse particular, há certa divergência entre os estudiosos se Tartaglia havia discutido de alguma forma a teoria do *impetus* na *Nova*

---

<sup>105</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 10v.

<sup>106</sup> Ibid.

<sup>107</sup> Ibid. 11r.

<sup>108</sup> Ibid.

<sup>109</sup> Ibid.

*Scientia*.<sup>110</sup> De qualquer forma, nos *Quesiti*, constitui parte importante na argumentação do autor, visto que é precisamente a contínua falta de "vigor" a causa da curvatura.

A discussão de Tartaglia nos leva a uma questão recorrente na análise do movimento dos projéteis. Sabemos que ao menos desde Aristóteles essa gestão gerava controvérsias, quando se procurava estudar o movimento local, do qual o movimento do projétil é um entre outros. Na *Física*, Aristóteles afirma que dois princípios deveriam ser levados em conta na análise de todo movimento: primeiro, tudo o que se move, é movido por algo, e, segundo, o que se move deve estar em contato com o movido. No problema dos projéteis, é apenas o meio, o ar, que está em contato com o projétil; por isso, seria preciso que o ar além de oferecer resistência de algum modo movesse o projétil.<sup>111</sup>

Ainda na Antiguidade essa explicação encontrou adversários, mas foi na Idade Média que ganhou diversos adeptos. Alguns autores propunham a existência de uma "força impressa", a fim de explicar a permanência do movimento na ausência de um movente em contato com o corpo. De acordo com essa teoria, aquilo que move o projétil lhe transmite algo, de forma que a força impressa age como causa interna do movimento, podendo essa força, para alguns autores, persistir no corpo caso não haja resistência, ou decrescer continuamente, mesmo sem resistência.<sup>112</sup>

Notamos aqui que, diferentemente de como procedeu na *Nova Scientia*, Tartaglia buscou apresentar razões físicas, isto é, as causas para explicar a trajetória. A causa da curvatura foi justificada por ele na passagem abaixo. O primeiro ponto a ser considerado foi explicitado por Tartaglia da seguinte maneira:

---

<sup>110</sup> Segundo Drake, essas considerações estariam ausentes; Drake & Drabkin, 101. De acordo com Ekholm, ao contrário, estão presentes; Ekholm, 194, nota 45. Tartaglia não afirma claramente, mas parece considerar esse "vigor" como algo que o corpo aos poucos deixa de possuir, mas não devido à resistência do ar. Para um estudo clássico sobre *impetus*, cf. Murdoch & Sylla. "The Science of Motion"; para um tratamento introdutório, cf., por exemplo, o capítulo citado de Grant, *Physical Sciences*. Quanto à "causa próxima", Tartaglia pode estar se referindo a Aristóteles ou a algum comentador do filósofo, na passagem em que a diferencia de "causa distante"; cf. Ross, 71-3.

<sup>111</sup> Murdoch & Sylla, 210.

<sup>112</sup> A teoria também se propunha a explicar o contínuo aumento de velocidade, aceleração, de um corpo em queda livre. Devido à ação contínua de seu próprio peso, o corpo recebe mais força impressa, e assim, adquire maior velocidade; *Ibid.*, 212.

"(...) quanto mais diminui a velocidade do projétil, tanto maior será sua inclinação [em direção ao centro da Terra], e tudo isso procede, porque [1] todo corpo grave lançado violentamente pelo ar, quanto mais veloz, tanto mais neste movimento se torna (se fa) menos grave (...)"<sup>113</sup>.

Ou seja, no início o movimento o projétil se aproximaria mais de uma reta do que na sua parte final (Figura 10). Isso ocorria porque a velocidade do projétil era maior em F do que em E, visto que um grave em movimento violento a velocidade sempre diminui, como havia discorrido em *Nova Scientia*. Além disso, no início do movimento, a "gravidade" do projétil influenciaria muito pouco. Entretanto, à medida que o projétil avançava, tal como rezava a doutrina aristotélica do movimento, ele tenderia a diminuir sua velocidade em virtude de sua "gravidade", tendendo aos poucos ao seu lugar natural. Isso significava que, de alguma forma, a maior velocidade implicava na diminuição do peso do corpo<sup>114</sup>.

Os outros pontos a considerar foram enunciados por Tartaglia da seguinte forma:

"(...) [2] e [o projétil] se desloca mais em linha reta pelo ar, porque o ar tanto mais facilmente sustenta um corpo quanto mais leve este é; [3] e ao fazer seus efeitos em tal movimento, recebe (*assume*) muito mais gravidade que sua própria; [4] e quanto mais um corpo grave é veloz (em movimento violento), tanto maior o efeito que faz em um resistente (...)"<sup>115</sup>.

Isso significa que, ao mesmo tempo em que a bala de canhão se desloca em maior velocidade, e por isso se faz menos grave, também causa um maior efeito por "assumir" maior peso com a velocidade. Diferentemente da *Nova Scientia*, Tartaglia aqui se refere a outros princípios, como da ciência dos pesos, tema ao qual voltaremos mais adiante. As considerações de Tartaglia sobre a curvatura da trajetória estavam relacionadas assim não só às questões relativas ao peso do corpo, mas também a de outra natureza, tal como a resistência do ar que ele não havia considerado na obra de 1537.

---

<sup>113</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 11r.

<sup>114</sup> Nos *Quesiti* Tartaglia considera que o peso do corpo não depende apenas da velocidade do projétil, mas também da posição em que está o cano do canhão, isto é, do ângulo em que se faz o disparo, como veremos.

<sup>115</sup> Ibid. Essa última parte do argumento é uma suposição da *Nova Scientia*.

Para concluir sua argumentação, Tartaglia afirma:

“(...) seja a linha ABCD e, se possível, seja alguma parte perfeitamente retilínea. Suponhamos reta toda AB, e fique dividida em duas partes iguais no ponto E. A bala será mais veloz pelo espaço AE (pela Prop. 2, Livro II de nossa *Nova Scientia*), que pelo espaço EB; portanto, a bala se descolará mais retamente pelo espaço AE (devido às razões acima discutidas) que pelo EB (...)”<sup>116</sup>.

Aplicando o mesmo raciocínio ao segmento AE, é possível demonstrar que este também não pode ser perfeitamente retilíneo. A trajetória, portanto, nunca poderia ser retilínea embora Tartaglia pudesse afirmar: “(...) é verdade que quanto mais veloz tanto mais em seu movimento se aproximará de um movimento retilíneo (...)”<sup>117</sup>.

Francesco dalla Rovere tem, todavia, um fato que contraria a argumentação precedente:

"Como pode acontecer, então, que muitas vezes se atinge um alvo precisamente no lugar onde se mira, o que não ocorreria caso a bala não se deslocasse em linha reta?"<sup>118</sup>

Ou seja, Francesco dalla Rovere pergunta a Tartaglia por que razão, ao mirar um objeto, muitas vezes se acerta bem o alvo. Não seria aí o caso de que o projétil percorre uma trajetória em linha reta? Tartaglia responde afirmando que a visão muitas vezes nos engana. Ou seja, o projétil nesse caso parece ir em linha reta porque se desloca com uma velocidade muito grande de modo que não conseguimos perceber sua inclinação<sup>119</sup>.

Na conclusão do *Quesito III*, aparece mais um argumento, até então não apresentado. Tartaglia mostra mais uma vez e com novo argumento como apenas nos lançamentos de 90° a trajetória não se encurvará. Seja A boca do

---

<sup>116</sup> Ibid., 11v.

<sup>117</sup> Ibid.

<sup>118</sup> Ibid., 12r.

<sup>119</sup> Ibid.



canhão (Figura 11) de onde saem corpos representados por B, e seja a gravidade suposta em C.<sup>120</sup>

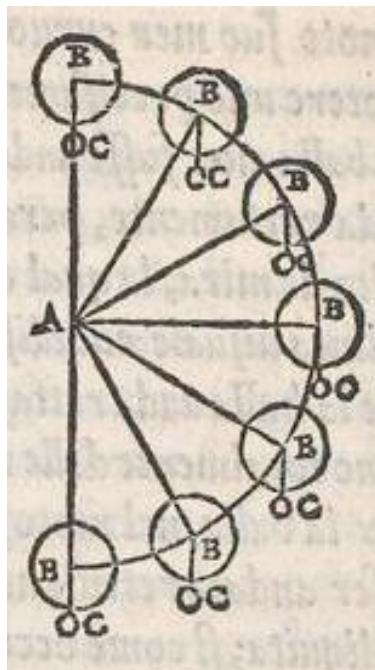


Figura 11: Ação da gravidade C do corpo B nos *Quesiti*.

Tartaglia não dá maiores explicações, por procurar ser breve, mas a conclusão é clara: em nenhum outro caso será retilínea, pois "há alguma parte da gravidade que sempre puxa (*tira*) o projétil para fora de seu caminho".<sup>121</sup>

Vemos assim dois tratamentos diferentes dados pelo autor ao tema da trajetória. Já indicamos alguns aspectos contrastantes, mas no próximo capítulo nos deteremos em dois aspectos, ou seja, uma voltada para a matemática e outra, à filosofia natural. E, no que diz respeito a esta última, provavelmente, as considerações relativas à ciência dos pesos tenham conduzido Tartaglia a "repensar" a trajetória, como abordamos a seguir.

<sup>120</sup> Tartaglia escreve: "representemos a 'gravidade' na forma de um *perpendicular* C". Vimos na descrição da *squadra* que *perpendicular* designa um fio em cuja extremidade está atado um peso de chumbo.

<sup>121</sup> Ibid.

## CAPÍTULO 3

### A *Nova Scientia* e os *Quesiti*: continuidades e descontinuidades

#### 3.1 Descontinuidades na argumentação de Tartaglia

Podemos encontrar indícios de que Tartaglia procurou embasar a curvatura das trajetórias nos *Quesiti* de forma diferente daquela da *Nova Scientia*, antes mesmo de o autor tratar diretamente do assunto. Com efeito, na *Questão II*, Francesco dalla Rovere pergunta a Tartaglia: "Dizei-me em qual dos dois casos acreditais que um canhão causará um maior efeito, se no mesmo nível do alvo ou se inclinado."<sup>122</sup>

Atendendo a um pedido de Tartaglia, Francesco dalla Rovere fornece um exemplo. Depois de alguns cálculos, Tartaglia afirma que sem dúvida o maior efeito sobre a fortaleza será causado pelo canhão situado abaixo do monte (Figura 12)<sup>123</sup>.

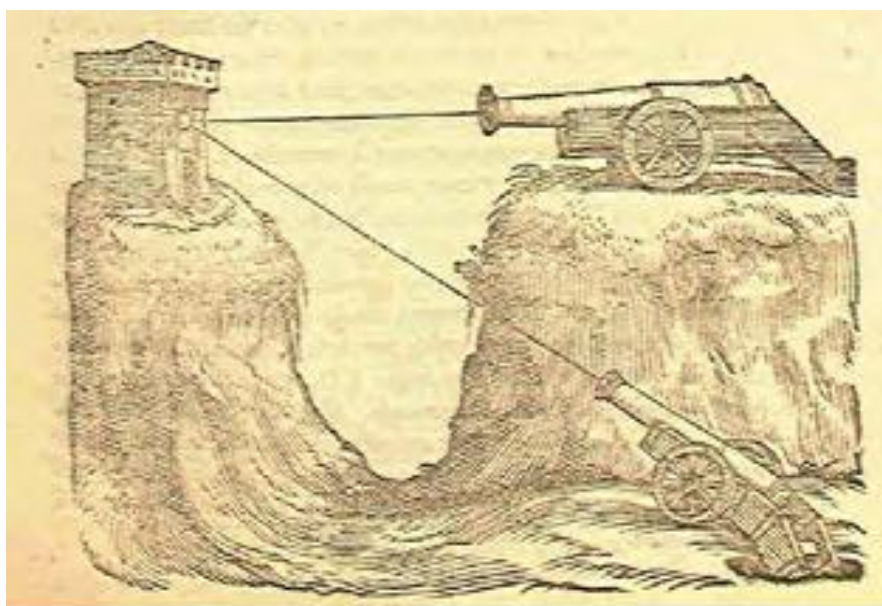


Figura 12: Dois canhões com diferentes inclinações disparam em um mesmo alvo<sup>124</sup>.

---

<sup>122</sup> Ibid., 7v. Os dois montes medem uma altura de 60 passos e a distância entre eles é de 100 passos, assim a distância que o projétil tem de percorrer quando atirado pelo canhão que está embaixo é de cerca de 117 passos, a hipotenusa do triângulo, chamada "distância diametral".

<sup>123</sup> Ibid.

<sup>124</sup> Ibid.

A resposta obviamente frustrou as expectativas do duque, pois esperava que fosse o canhão mais próximo da fortaleza. Na argumentação, Tartaglia procura mostrar que se os dois canhões estivessem igualmente inclinados, bastaria saber qual o mais próximo para resolver a questão. Contudo, havendo a inclinação como um segundo fator, ele sustenta ser necessário saber qual deles é o predominante, por isso o pedido de um exemplo a dalla Rovere. De acordo com Tartaglia, para resolver essa questão é preciso empregar "(...) a ciência dos pesos, ciência de não pouca especulação, por ser subalternada à geometria e à filosofia natural"<sup>125</sup>.

Ao tratarmos da *Questão III*, vimos que o peso do projétil depende da velocidade do lançamento. Mas pelo que observamos acima, nos *Quesiti*, o peso do corpo pode ser alterado também pela inclinação em que se faz um disparo. Por meio disso, o autor procura explicar por que, com a variação do ângulo e da velocidade em que são feitos os disparos, a trajetória do projétil tem uma maior ou menor parte retilínea (AF, Figura 7) ou, ao menos, aparentemente retilínea (AB, Figura 10).

É a ciência dos pesos que permite a Tartaglia fazer essas considerações. Emprega-se, desde o século XVII, um mesmo conjunto de princípios tanto para resolução de problemas de estática como de dinâmica; até a época de Tartaglia e ainda depois, ao contrário, os estudiosos consideravam movimento e repouso como fundamentalmente opostos. Daí existirem duas ciências: a ciência do movimento e a dos pesos (*scientia de ponderibus*).<sup>126</sup>

Nos *Elementa*, uma das obras mais conhecidas dessa ciência, cuja autoria se atribui a Jordanus de Nemore, dois pesos diferentes são considerados, mas nenhum deles é o peso específico de Arquimedes (certo peso comparado a outro tamanho por tamanho). Tartaglia, como vimos, valeu-se dos conceitos do autor medieval para explicar o aparente contrassenso da *Questão III*.<sup>127</sup>

---

<sup>125</sup> Ibid., 8r. Segundo Drake, as proposições que Tartaglia utiliza da ciência dos pesos podem ter se baseado em três tratados conhecidos desde a Idade Média, disponíveis na edição de Moody e Clagett; Drake & Drabkin, 112, nota 16.

<sup>126</sup> Brown, "The Science of Weights", 179.

<sup>127</sup> Imaginemos, para compreender os conceitos de Jordanus, que uma linha vertical passa através do centro do planeta e sobre ela esteja um corpo em movimento natural, esse é o maior peso do corpo (*gravitas in descendendo*). Já a gravidade posicional (*gravitas secundum*

Como mencionamos no Capítulo 1, Tartaglia viveu numa época em que muitos autores dedicaram-se ao estudo da natureza e das artes conjugando conhecimentos de autoridades com os problemas que a sociedade encontrava. Mas Tartaglia não apenas se apropriou desses conhecimentos, contribuiu com a edição e tradução de algumas das obras mais relevantes para a filosofia natural de então. Além dos *Elementos* de Euclides, ele publicou, em 1543, o tratado *Sobre o Equilíbrio dos Planos e Sobre os Corpos Flutuantes* de Arquimedes, traduzidos por Guilherme de Moerbeke (ca.1220- ca.1286). Esta obra foi também traduzida e incluída pelo autor dos *Quesiti* na mencionada *Travagliata Inventione*. Além dessas obras, um tratado de Jordanus de Nemore (*Jordani opusculum de ponderositate*), ainda que publicado depois da morte de Tartaglia, saiu das prensas devido a um manuscrito que ele possuía<sup>128</sup>.

Essas novas fontes nos ajudam a compreender por que a discussão de Tartaglia no Livro I dos *Quesiti* se detém na busca por causas. Ao examinarmos a argumentação na *Nova Scientia*, é nítido o caráter acentuadamente descritivo da obra, pois como vimos o autor se propõe a explicar as trajetórias apenas segundo Aristóteles e Euclides.

Ainda que notemos de forma mais acentuada nos *Quesiti*, a *Nova Scientia* também é um exemplo do impacto das novas fontes, principalmente pelo tratamento geométrico da trajetória do projétil. Segundo Debus, a maior circulação das obras de Arquimedes foi da maior importância para as tentativas de matematização da filosofia natural<sup>129</sup>.

A esse respeito, Drake observa que, apesar de Moerbeke ter traduzido grande parte das obras de Arquimedes no século XIII, foi apenas no XV que ganharam maior circulação, e mais tarde ainda, na época de Tartaglia, começaram a circular em edições impressas<sup>130</sup>.

---

*situm*) de um corpo que tem seu movimento natural impedido de alguma forma aumentará à medida que se aproxima da linha vertical; Brown, 190-6.

<sup>128</sup> Segundo Drake e Cuomo, é provável que Tartaglia tenha recebido as obras por meio de Diego Hurtado de Mendonza (1503 - 1575), embaixador em Veneza do rei espanhol Carlos V, por volta de 1539; Drake & Drabkin, 23; Cuomo, "Shooting by the book", 184, nota 39.

<sup>129</sup> Debus atribui três principais explicações para a intensificação do uso das matemáticas no século XVI: a maior circulação dos tratados de Arquimedes, interesse no estudo do movimento, no sentido daquele realizado pelos medievais em Oxford e Paris, e a renovada influência das diferentes correntes do platonismo e pitagorismo; Debus, *O Homem e a Natureza*, 9.

<sup>130</sup> Drake & Drabkin, 21-23.

Mas além de Arquimedes e Jordanus de Nemore, a mecânica no século XVI ficou marcada pela redescoberta de obras de alguns autores da Antiguidade e da Idade Média: Heron, Pappus, o autor dos *Problemas Mecânicos*<sup>131</sup>. De acordo com Laird, durante o século XVI a mecânica permaneceu distinta das outras ciências por quatro características principais, todas elas encontradas nas linhas iniciais dos *Problemas Mecânicos*: era considerada uma ciência, não arte; tinha *status* de ciência matemática, mesmo tendo como objeto um ente material; envolvia movimentos e efeitos contrários à natureza; e era pensada como útil para a humanidade<sup>132</sup>.

Encontramos na *Nova Scientia* e nos *Quesiti* a influência de muitas dessas novas fontes, como os *Problemas Mecânicos*, aos quais Tartaglia dedicou todo o Livro VI dos *Quesiti*, a ciência do movimento, a ciência dos pesos, Arquimedes e Jordanus. Assim, podemos dizer que, além de ampliar seu tratamento dado ao lançamento de projéteis na *Nova Scientia*, a forma de Tartaglia lidar com os conhecimentos matemáticos e da filosofia natural mudou no período entre a publicação das duas obras.

### 3.2 Sobre a mudança das trajetórias

Comparando as trajetórias dos projéteis descritas por Tartaglia na *Nova Scientia* e Nos *Quesiti*, notamos uma significativa mudança no que diz respeito não só a forma, mas também ao tratamento dado a elas. Mas até que ponto poderíamos afirmar que Tartaglia mudou de ideia a respeito da trajetória?

---

<sup>131</sup> Laird & Roux, 7. A mecânica era marcada pelo estudo das máquinas simples (alavanca, roldana, polia, cunha, parafuso e, às vezes, a balança) até a época Newton, quando suas três leis se tornaram a base da mecânica; Alfonso-Goldfarb, 47-9. Quanto à mecânica moderna, esta surge no século XVII, a partir de conflitos de diferentes tradições da Antiguidade e da Idade Média: entre considerações teóricas e experiências práticas, com contribuições de uma mecânica um tanto rudimentar, da filosofia natural e das matemáticas, até se estabelecer como uma ciência matemática e independente, conservando sua inclinação prática; Laird & Roux, 10-1. É interessante que, na Idade Média, por não se conhecer um tratado da mecânica de Arquimedes ou da de Alexandria, era difícil encaixá-la em alguma categoria, uma vez que Aristóteles a incluía entre as subordinadas. Santo Tomás de Aquino, por exemplo, compreendida a mecânica como ciência da fabricação das máquinas, estava subalternada à estereometria, isto é, ciência da mensuração dos corpos; Nascimento, *De Tomás de Aquino a Galileu*, 58, nota 94

<sup>132</sup> Cf. Laird, 45-6.

Como dissemos no final do Capítulo 1, grande parte dos autores chama a atenção para as diferentes ideias de Tartaglia sobre as trajetórias dos projéteis, e têm sem dúvidas razões para assim proceder, como já apontamos. Koyré observa que Tartaglia abandonou a "simplificação prática" anteriormente referida que havia feito no tratado de 1537, visto que as convicções dele teriam mudado no intervalo de tempo que compreende a publicação de uma e de outra obra, sem nos dizer, entretanto, quais seriam as razões de tal mudança.<sup>133</sup>

Koyré ainda lamenta que a trajetória dos projéteis da *Nova Scientia* tenha exercido mais influência no século XVI do que a dos *Quesiti*<sup>134</sup>. Com efeito, Tartaglia está em uma posição bastante singular, quando sua proposta é comparada a trajetórias ulteriores, de Bernardino Baldi (1533-1617), Cardano e do jovem Galileu, uma vez que os três estudiosos propuseram uma trajetória inicial em linha reta, como na *Nova Scientia*<sup>135</sup>.

Rose, que compartilha da hipótese de Koyré, afirma ainda que a passagem da descrição de uma trajetória a outra se deveu à superação das objeções que Tartaglia teria ao movimento misto<sup>136</sup>. Também Henninger-Voss sugere que o abandono da acentuada descontinuidade entre movimento natural e o violento teria possibilitado considerar completamente curva a trajetória do projétil, mas acrescenta que essa descontinuidade teria sido causada pela ciência dos pesos.<sup>137</sup>

Vemos pela Figura 11 que, de fato, o peso do corpo, representado pelo *perpendicolo* B, está sempre agindo, o que, segundo Tartaglia, impossibilita considerar retilíneo qualquer segmento da trajetória. Contudo, como observou Drake, devemos ter em mente que a curvatura está presente já na *Nova Scientia*. Se retornarmos à segunda suposição do Livro II da *Nova Scientia*, vemos que "(...) nenhum percurso ou movimento violento de um corpo igualmente grave pode ter, fora da perpendicular ao horizonte, nenhuma parte

---

<sup>133</sup> Koyré., 113.

<sup>134</sup> Ibid., 107.

<sup>135</sup> Meli, 57-8.

<sup>136</sup> Rose, *The Italian Renaissance*, 152.

<sup>137</sup> Henninger-Voss, 385-9. Laird também vê maior influência nos *Quesiti* da ciência dos pesos que de Arquimedes; Laird, 52-3. Na pequena parte de seu artigo dedicada a Tartaglia, Laird se refere apenas de forma passageira aos *Quesiti*. Não podemos afirmar, pois, que tivesse em mente também a ciência dos pesos como decisiva para a mudança na trajetória.

que seja perfeitamente reta (...)"<sup>138</sup>, o que se deveria, também na *Nova Scientia*, à "gravidade". Assim, percebemos que, a despeito de a gravidade ter sido apresentada de forma passageira, a conclusão é a mesma dos *Quesiti*: em movimento violento, a trajetória é, de fato, sempre curva.

Mas para compreendermos melhor a argumentação de Tartaglia nos parece que precisamos ver com mais detalhes como as novas fontes chegaram a ele. Quando da elaboração da *Nova Scientia*, o autor claramente conhecia os *Elementos* e a *Física* de Aristóteles. Quanto a seus conhecimentos das ciências mistas, da ciência medieval do movimento e dos pesos, podemos apenas conjecturar, uma vez que aparecem de forma indireta, se é que aparecem<sup>139</sup>.

Em 1537, provavelmente Tartaglia conhecia os *Problemas Mecânicos*, tratado que já circulava em sua época, sendo a versão latina mais difundida a de Leonico Tomeo (1456-1531). A primeira edição dessa obra foi publicada em 1524, seguida de pelo menos mais uma edição e de várias reimpressões. Vale lembrar que Tartaglia dedicou a ela o Livro VI dos *Quesiti*<sup>140</sup>.

Tartaglia teria acesso a pelo menos um tratado da ciência dos pesos, se considerarmos que em 1533 foi publicado *De ponderibus* de Jordanus de Nemore<sup>141</sup>. Ainda outra obra em que se abordam matematicamente problemas físicos poderia lhe ter chagado às mãos, *Sobre a Quadratura do Círculo* de Arquimedes<sup>142</sup>. Já os rudimentos da mecânica do estudioso grego estavam acessíveis na época de Tartaglia, por meio de Giorgio Valla (1447-1500), em *De exptendis et fugiendis rebus* publicada em 1501, em cuja primeira parte, cerca de sessenta linhas, Valla transcreve o comentário de Eutócio (nascido ca. 480) a *Sobre o Equilíbrio dos Planos*<sup>143</sup>.

Nos *Quesiti*, por outro lado, nosso trabalho de identificar as fontes do autor é relativamente simples. No texto há claras referências, nos termos e nas

---

<sup>138</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, 11r.

<sup>139</sup> Ekholm, em artigo recente, reuniu as informações a respeito e propôs algumas mudanças nas fontes disponíveis; cf. Ekholm, 193-7.

<sup>140</sup> Rose & Drake, "The Pseudo-Aristotelian", 78-9. Como Tartaglia inclui nos *Quesiti* uma discussão sobre *Problemas* e não procurou editá-los, ao contrário do que fez com Arquimedes, é bastante provável que fosse conhecida em 1546 pelo público, e ainda conhecida pelo autor já em 1537; Ekholm, 201.

<sup>141</sup> Segundo Drake esta edição logo se difundiu; Drake & Drabkin, 24.

<sup>142</sup> Ekholm, 182 e 194. Nesse particular, a autora não está de acordo com Drake e Cuomo; Drake & Drabkin, 66, nota 6; Cuomo, "Shooting by the book", 184, nota 39.

<sup>143</sup> Ekholm, 196.

citações diretas, a Jordanus e Arquimedes. Temos também a edição feita por Tartaglia em 1543 de *Opera Archimedis*, que contém: *Sobre o Equilíbrio dos Planos*, *Sobre os Corpos Flutuantes*, *Sobre a Medida do Círculo* e *Sobre a Quadratura da Parábola*. Tartaglia também teria acesso a outros tratados da ciência dos pesos, visto que dedica a ela o Livro VIII dos *Quesiti*.<sup>144</sup>

Conhecendo mais de perto as obras que Tartaglia dispunha quando publicou a *Nova Scientia* e os *Quesiti*, podemos retornar a trechos da argumentação nos *Quesiti*. Vimos que a razão pela qual a trajetória é sempre curva se deve à contínua atuação da "gravidade" presente no corpo. Esta aí a razão de os estudiosos chamarem a atenção para o efeito da ciência dos pesos nos *Quesiti*.

Mas atentemos para outra parte da argumentação. Ao passo que na *Nova Scientia* Tartaglia havia abstraído desde a primeira definição a presença do ar, nos *Quesiti*, passou a ser considerada, e não com uma, mas ao menos com duas funções diferentes: ora oferece resistência à passagem do projétil, ora "sustenta" o projétil mais em linha reta. Com efeito, na passagem já citada da *Questão III* o autor procura explicar a razão dessa última influência do ar sobre o projétil: "(...) e [o projétil] se desloca mais em linha reta pelo ar, porque o ar tanto mais facilmente sustenta um corpo quanto mais leve este é (...)"<sup>145</sup>.

Tartaglia afirma que o ar, de alguma forma, "sustenta" o projétil numa trajetória retilínea tanto mais quanto maior for sua velocidade, ou seja, mais próximo do ponto de lançamento. Esse papel exercido pelo ar sobre o projétil parece nos remeter a *Sobre os Corpos Flutuantes*, tratado já editado, em 1543, e que foi traduzido por Tartaglia para elaborar sua *Travagliata Inventione*, publicada em 1551. Para nossa discussão, é importante notar que não há indícios da presença desse tratado de Arquimedes em 1537<sup>146</sup>.

No Livro I da referida obra, Arquimedes trata de sólidos que são imersos em fluidos, propondo diferentes alterações no peso (tamanho por tamanho) do sólido devido à presença do fluido. Mas talvez seja mais perceptível a influência desse tratado nos *Quesiti* em outra passagem do Livro I, na qual o autor se propõe a explicar mais um "acidente" da artilharia:

---

<sup>144</sup> Drake & Drabkin, 23.

<sup>145</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 11r.

<sup>146</sup> Ekholm, 193.



"Percebi por experiência que ao lançar com uma artilharia contra uma muralha, se estiver muito próximo, o efeito não será muito grande como faria se estiver a uma distância um pouco maior. pelas razões apresentadas na *Nova Scientia*, deveria acontecer o contrário"<sup>147</sup>.

Para resolver o problema, Tartaglia afirma primeiro, seguindo os preceitos aristotélicos, que é preciso notar que toda coisa movida sempre move outra coisa. Assim o projétil é posto em movimento pela "rajada de vento" (*ventosita*), causada pela queima da pólvora, e ambos movem o ar que está próximo a eles<sup>148</sup>. O autor denomina esse "ar que assume gravidade" de "figura de ar" (*figura aerea*), e dessa forma tenta explicar mais esse acidente, já que, como observa Koyré, a figura de ar agiria como uma espécie de "almofada"<sup>149</sup>.

O que é importante aqui considerar é o seguinte: a "figura de ar", que é mais grave do que o ar circunstante devido a sua velocidade, deixa-o para trás, e também o projétil passa através de tal figura, por ser também mais grave que ela. Ou seja, nesse argumento é possível identificar três "corpos" com pesos diferentes (no sentido de Arquimedes), decrescentes nessa ordem: o projétil, a "figura de ar" e o ar imediatamente à frente dela.

Temos, a partir dessas considerações, um novo elemento para compreendermos a argumentação de Tartaglia na *Questão III*. Vejamos o resumo que o próprio autor fornece: 1) quanto maior a velocidade do projétil lançado pelo ar, menor sua gravidade, e, inversamente, quanto menor a velocidade, maior a gravidade; 2) quanto maior a gravidade, maior a tendência (*stimulatione*) de o projétil se encurvar em direção à terra.

Como o corpo em movimento violento tem sua velocidade maior quanto mais próximo do ponto de lançamento, "mais leve ele se faz". Assim, o ar pode sustentá-lo em uma trajetória aparentemente em linha reta, ainda que, de fato, nem por um passo a "gravidade" do corpo deixe de agir. A partir disso, vemos que autor procurou não só fornecer razões para a curvatura do projétil, mas também para a curva ser menos acentuada. Uma vez que a "gravidade" está

---

<sup>147</sup> Tartaglia, *Quesiti*, Questão XVIII, 23r. Esse fato contradiz a quarta sentença comum da *Nova Scientia*: em movimento violento, quanto mais próximo o início do movimento, maior o efeito causado sobre o resistente. O interlocutor de Tartaglia nessa *Questão* era certo Iacomo de Achai.

<sup>148</sup> Ibid., 23 r-v.

<sup>149</sup> Koyré, 126.

relacionada tanto com a velocidade como com a posição do projétil, tal função que o ar exerce aqui parece procurar equilibrar a tendência de o projétil encurvar-se em direção à terra, o que torna possível explicar por que a trajetória mais se aproxima de uma reta no início do movimento.

Além dessas considerações Tartaglia nos *Quesiti* faz constante menção à parte retilínea da trajetória em movimento violento. Com efeito, é a consideração da trajetória inicial em linha reta que permite a Tartaglia resolver a dúvida do *Signor dalla Rovere*, na *Questão II*.<sup>150</sup> Ademais, Tartaglia tinha bons motivos para continuar considerando válida a possibilidade de geometrizar as trajetórias. Em ambas as obras ele afirma ter obtido alguns resultados, entre eles a "ordem e proporção" do alcance dos disparos. Na *Questão I* dos *Quesiti* Tartaglia enfatiza um desses resultados, obtido com o auxílio da *squadra*:

"Primeiro quero inferir isto: lançando um projétil com a elevação do primeiro ponto [7.5°], lançará a uma distância muito maior que aquela distância obtida estando nivelado [0°], e lançando com a elevação do segundo ponto, atingirá uma distância muito maior que aquela do primeiro, e assim com o terceiro ponto, muito maior que a do segundo, e com a elevação do quarto ponto ainda muito mais distante que a do terceiro, e, da mesma forma, com o quinto ponto atingirá uma distância ainda pouco maior que a do quarto ponto, e assim com a última elevação, isto é, do sexto ponto, com um projétil de chumbo atingirá um pouco mais, mas pouco mais, pois a razão demonstra que esses dois disparos, ou seja, com o quinto e sexto pontos, são muito próximos (...) E se alguém pudesse elevar tal canhão, como se faz com os morteiros, até o sétimo ponto, sem dúvidas, atingiria uma distância um pouco menor que com o sexto, e assim com o oitavo (...)"<sup>151</sup>.

Convém notar que Tartaglia não afirma que em disparos feitos, por exemplo, pelo quarto ponto (30°) e pelo oitavo (60°) os alcances são iguais. Em uma passagem da *Nova Scientia*, o estudioso já havia relatado que dois alcances iguais podem ser obtidos com diferentes inclinações do canhão, também sem dizer quais seriam<sup>152</sup>.

---

<sup>150</sup> Henninger-Voss discute brevemente a *Questão II*, e aponta a permanência da distinção entre os movimentos locais, mas de maneira um pouco menos clara que na *Nova Scientia*, devido às considerações da ciência dos pesos; Henninger-Voss; 388.

<sup>151</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 6v-7r.

<sup>152</sup> Tartaglia, *La Nova Scientia*, *Epistola*.

Logo na sequência da mesma *Questão I*, Tartaglia acrescenta:

"Em segundo lugar, quero inferir isto: encontramos em que espécie de proporção ou ordem tais disparos aumentam em cada elevação, e não apenas ponto por ponto de nossa *squadra*, mas de minuto em minuto, até a elevação do sexto ponto, isto é, setenta e dois minutos [45°], e para qualquer tipo de bala, isto é, de chumbo, de ferro ou de pedra"<sup>153</sup>.

Daí a possibilidade alegada por Tartaglia de poder construir uma tabela de disparos. As passagens referidas acima nos mostram que Tartaglia mantém os resultados obtidos na *Nova Scientia*. Como Tartaglia não levanta a possibilidade de a trajetória ser uma parábola nem parece ter deixado de procurar dar algum tratamento matemático às trajetórias, somos levados a crer que para o autor, de alguma forma, a trajetória dos *Quesiti* não exclui a da *Nova Scientia*.

---

<sup>153</sup> Tartaglia, *Quesiti*, 7r.

## Considerações Finais

Vimos que Tartaglia procurava fazer da artilharia uma ciência e procurava afastar-se do conhecimento típico dos artilheiros, o que percebemos logo no começo das dedicatórias a Francesco dalla Rovere e a Henrique VIII. No que diz respeito às diferentes trajetórias, muitas das incoerências apresentadas pelos autores que estudaram a obra de Tartaglia só se justificam com o pressuposto de que Tartaglia estivesse trabalhando com um único referencial, seja aristotélico, seja segundo a ciência dos pesos. Entretanto, não parece ser esse o caso. Na *Nova Scientia*, Tartaglia não procurava considerar todos os preceitos aristotélicos, mas apenas aqueles que lhe interessam para explicar a trajetória dos projéteis, o que se deve a sua atividade de professor em escolas de ábaco.

Como vimos, a abordagem dada à trajetória na *Nova Scientia* é mais descritiva e geométrica e, no que se refere às causas do movimento do projétil, Tartaglia tem a filosofia natural aristotélica como fonte exclusiva para construir seus argumentos. Diferentemente, nos *Quesiti*, a postura é outra, em vista do contato com obras que agora se tornaram disponíveis a Tartaglia. Podemos dizer que sua argumentação nos *Quesiti* parece realizar um percurso inverso em relação àquele que encontramos na *Nova Scientia*, ou seja, as causas parecem tomar o primeiro plano na sua argumentação.

A esse respeito é preciso observar que, nos *Quesiti*, a trajetória nem sequer por um único passo é retilínea, o que impediria Tartaglia de geometrizá-la. Desse modo as considerações geométricas ficaram em segundo plano e as discussões sobre as causas do movimento, baseadas agora na ciência dos pesos, do movimento e ainda nos tratados de Arquimedes, tal como *Sobre os Corpos Flutuantes*, tornaram-se centrais.

Nesse sentido, aquilo que nos *Quesiti* pode ser considerado, como afirma Koyré, um passo na direção de uma trajetória parabólica, pode ao mesmo tempo, e talvez com mais razão, ser compreendido diferentemente. Isso porque nos *Quesiti*, Tartaglia parece estar voltando às considerações mais antigas da filosofia natural. De fato, a possibilidade de geometrizar a trajetória

apresentada na *Nova Scientia* ficou comprometida, devido às fontes que Tartaglia utilizou para a elaboração dos *Quesiti*.

Para concluir, podemos dizer ao mesmo tempo em que Tartaglia fornece razões para a trajetória ser completamente curva, outras são apresentados para poder considerar o movimento violento em parte retilíneo. Por isso, a maior descontinuidade entre as obras está mais ligada ao abandono do caráter descritivo do que à mudança de ideias de Tartaglia sobre as trajetórias.

## Bibliografia

Alfonso-Goldfarb, Ana M. *A Magia das Máquinas: John Wilkins e a Origem da Mecânica Moderna*. São Paulo: Experimento, 1994.

\_\_\_\_\_. *O Que É História da Ciência*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1994.

\_\_\_\_\_. “Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência”. *Circumscribere* 4 (2008), 5-9.

Alfonso-Goldfarb, Ana M. & Maria H. R. Beltran, org. *Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas*. São Paulo: Educ; Fapesp; Livraria da Física, 2004.

\_\_\_\_\_. *O Laboratório, a Oficina e o Ateliê: a Arte de Fazer o Artificial*. São Paulo: Educ; Fapesp; Inep; Comped, 2004.

\_\_\_\_\_. *O Saber Fazer e seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações*. São Paulo: Educ; Fapesp; Livraria da Física, 2006.

Alfonso-Goldfarb, Ana M., Márcia H. M. Ferraz & Patrícia Aceves. “Uma ‘Viagem’ entre Documentos e Fontes”. *Circumscribere* 12 (2012), V-VIII.

Aristóteles. *The Complete Works of Aristotle*. 2 vols. Ed. J. Barnes. Princeton: Princeton University Press, 1991.

\_\_\_\_\_. *Física I-II*. Trad. Lucas Angioni. Campinas: Editora da Unicamp, 2009.

Arquimedes. *The Works of Archimedes*. Ed. J.L. Heath. Nova Iorque: Dover Publications Inc., 1912.

Assis, André K.T. “Sobre o Equilíbrio dos Planos, Tradução Comentada de um Texto de Arquimedes.” *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 18 (1997): 81-94.

Biagioli, Mario. “The Social Status of Italian Mathematicians, 1450-1600.” *History of Science* 27, nº 1 (mar. 1989): 41-95.

Boyer, Carl B. *A History of Mathematics*. 2ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons Inc., 1968.

Brown, Joseph E. “The Science of Weights” In *Science in the Middle Ages*, ed. David C Lindberg, 179-205. Chicago: The University of Chicago Press, 1978.

- Bütner, Jochen, Peter Damerow, Jürgen Renn & Mathias Schemmel. "The Challenging Images of Artillery: Practical Knowledge at the Roots of the Scientific Revolution" In *The Power of Images in Early Modern Science*, ed. Lefèvre, Wolfgang & Jürgen Renn & Urs Schoepflin, 3-27. Berlin: Birkhäuser Verlag, 2003.
- Clagett, Marshall. "The Impact of Archimedes on Medieval Science." *Isis* 50, n° 4 (dez. 1959): 419-429.
- \_\_\_\_\_. "Archimedes" In *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols, org. Charles C. Gillispie. Nova Iorque: Charles Scribner's son, 1981.
- Cuomo, Serafina. "Shooting by the Book: Notes on Niccolò Tartaglia's Nova Scientia". *History of Science* 35, n° 2 (jun. 1997): 155-188.
- \_\_\_\_\_. "Niccolò Tartaglia, Mathematics, Ballistics, and the Power of Possession of Knowledge". *Endeavour* 22, n° 1 (mar. 1998): 31-35.
- Dear, Peter. "Mixed Mathematics" In *Wrestling with Nature: from Omens to Science*, ed. Peter Harrison, Ronald L. Numbers & Michael H. Shank, 149-72. Chicago: The University of Chicago Press, 2011.
- Debus, Allen G. *O Homem e a Natureza no Renascimento*. Trad. Fernando Magalhães. Porto: Porto Editora, 2002.
- \_\_\_\_\_. "A Ciência e as Humanidades: a Função Renovadora da Indagação Histórica". *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 5, n° 1 (jan. 1991): 3-13.
- De Pace, Anna. *Le Matematiche e Il Mondo. Ricerche su un Dibattito in Italia Nella Seconda Metà del Cinquecento*. Milão: Francoangeli, 1993.
- Dijksterhuis, Eduard J. *Mechanization of the World Picture*. Trad. C. Dikshoorn. Nova Iorque: Oxford University Press, 1961.
- Drake, Stillman & Israel E. Drabkin, eds. *Mechanics in Sixteenth-Century Italy: Selection from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo & Galileo*. Madison: University of Wisconsin Press, 1969.
- Echeverría, Virginia I. "Hydrostatics on the Fray: Tartaglia, Cardano and the Recovering of Sunken Ships." *The British Journal for the History of Science* 44, n° 4 (dez. 2011): 479-491.

- Ekholm, Karin J. "Tartaglia's Ragioni: a Maestro d'Abaco's Mixed Approach to the Bombardier's Problem." *The British Journal for the History of Science* 43, n° 2 (jun. 2010): 181-207.
- Euclides. *Os Elementos*. Trad. e Introdução. Irineu Bicudo. São Paulo: UNESP, 2007.
- Eves, Howard. *Introdução à História da Matemática*. Trad. Igyno Domingues. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.
- Favaro, Antonio. "Di Noccolò Tartaglia e Della Stampa di Alcune Delle sue Opere con Particolare Riguardo Alla Travagliata Inventione." *Isis* 1, n° 3 (set. 1913): 329-340.
- Freedman, Joseph S. *Philosophy and the Arts in Central Europe, 1500-1700: Teaching And Texts at School and Universities*. Vermont: Aldershot; Brookfield, 1999.
- Gaukroger, Stephen. *The Emergence of a Scientific Culture: Science and the Shaping of Modernity, 1210-1685*. Oxford: Clarendon Press, 2006.
- Gillispie, Charles C., org. *Dictionary of Scientific Biography*. 16 Vols. Nova Iorque: Charles Scribner's son, 1981.
- Grandler, Paul F. *Schooling in Renaissance Italy: Literacy and Learning, 1300-1600*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1989.
- Grant, Edward. *Physical Sciences in the Middle Ages*. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1971.
- \_\_\_\_\_. "Jordanus de Nemore" In *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols, org. Charles C. Gillispie. Nova Iorque: Charles Scribner's son, 1981.
- \_\_\_\_\_. *Os Fundamentos da Ciência Moderna na Idade Média*. Trad. Carlos G. Babo. Porto: Porto Editora, 2002.
- Henninger-Voss, Mary J. "How the 'New Science' of Cannons Shook the Aristotelian Cosmos." *Journal for the History of the Ideas* 63, n° 3 (jul. 2002): 371-397.
- Jones, Richard F. *Ancients and Moderns: a Study of the Rise of the Scientific Movement in Seventeenth-Century England*. Nova Iorque: Dover, 1961.
- Keller, Albert G. "Mathematicians, Mechanics and Experimental Mechanics in Northern Italy in the Sixteenth Century" In *The Emergence of Science in Western Europe*, ed. Maurice Crosland, 15-34. Nova Iorque: Science History Publications, 1976.



- Keller, Alex. "Archimedean Hydrostatic Theorems and Salvage Operations in 16th-Century Venice". *Technology and Culture* 12, n° 4 (out. 1971): 602-617.
- Koyré, Alexandre. *Estudos de História do Pensamento Científico*. Trad. Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1982.
- Kuhn, Thomas S. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: The University of Chicago Press, 1977.
- Laird, Walter. R. "The Scope of Renaissance Mechanics". *Osiris* 2 (2ª série, 1986): 43-68.
- Laird, Walter R. & Sophie Roux eds. *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution*. Boston: Springer, 2008.
- Lindberg, David C. *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, Prehistory to A.D. 1450*. 2ª ed. Chicago: University of Chicago Press, 2007.
- Masi, Michael. "Arithmetic" In *The Seven Liberal Arts in the Medieval Ages*, ed. David L. Wagner, 147-168. Bloomington: Indiana University Press 1986.
- Masotti, Arnaldo. *Studi su Niccolò Tartaglia*. Bréscia: Ateneo di Brescia, 1962.
- \_\_\_\_\_. "Niccolò Tartaglia" In *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols, org. Charles C. Gillispie. Nova Iorque: Charles Scribner's son, 1981.
- McKirahan, Richard D. "Aristotle's Subordinate Sciences". *British Journal for the History of Science* 11, n° 2 (nov. 1978): 197-220.
- Meli, Bertoloni. *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2006.
- Mongelli, Lênia M. coord. *Trivium e Quadrivium: As Artes Liberais na Idade Média*. Cotia: Íbis, 1999.
- Moody, Ernest A. & Marshall Clagett eds. *The Medieval Science of Weights (Scientia de Ponderibus): Treatises Ascribed to Euclid, Archimedes, Thabit ibn Qurra, Jordanus de Nemore and Blasius of Parma*. Madison: The University of Wisconsin Press, 1960.
- Murdoch, John E. & Edith D. Sylla. "The Science of Motion" In *Science in the Middle Ages*, ed. David C. Lindberg, 206-64. Chicago: The University of Chicago Press, 1978.

- Nascimento, Carlos A. *De Tomás de Aquino a Galileu*. Campinas: IFHC; UNICAMP, 1995.
- Pedersen, Olaf. *The First Universities: Studium Generale and the Origins of University Education in Europe*. Trad. Richard North. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Rose, Paul L. *The Italian Renaissance of Mathematics*. Genebra: Librarie Droz, 1975.
- Rose, Paul L. & Stillman Drake. "The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics." *Studies in the Renaissance* 18 (1971): 65-104.
- Rossi, Paolo. *Los Filósofos y las Máquinas 1400-1700*. 3<sup>a</sup> ed. Trad. José Manuel García de la Mora. Barcelona: Editorial Labor, 1970.
- \_\_\_\_\_. *Naufrágio sem Espectador: a Ideia de Progresso*. Trad. Álvaro Lorencini. São Paulo: Editora da UNESP, 2000.
- Ross, William D. *Aristotle*. 2<sup>a</sup> ed. Londres: Methuen & Co, 1949.
- Saito, Fumikazu. "Alguns Aspectos do Empreendimento Experimental de Blaise Pascal (1623-1662)". Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002.
- \_\_\_\_\_. "'Continuidade' e 'Descontinuidade': o Processo da Construção do Conhecimento Científico na História da Ciência". *Revista da FAEEBA* 22, n<sup>o</sup> 1 (jan. 2013): 183-194.
- Saito, Fumikazu & Maria da S. Dias. *Articulação de Entes Matemáticos na Construção e Utilização de Instrumentos de Medida no Século XVI*. Natal: Sociedade Brasileira de História da Matemática, 2011.
- Sarnowsky, Jürgen. "Concepts of Impetus and the History of Mechanics" In *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, ed. Walter R. Laird & Sophie Roux, 121-45. Boston: Springer, 2008.
- Schiefsky, Mark J. "Theory and Practice in Hero's Mechanics." In *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution*, ed. Walter R. Laird & Sophie Roux, 15-49. Boston: Springer, 2008.
- Schmitt, Coldwell B. "Science in the Italian Universities in the Sixteenth and Early Seventeenth Centuries" In *The Emergence of Science in Western Europe*, ed. Maurice Crosland, 35-56. Nova Iorque: Science History Publications, 1976.

- Simms, Dennis L. "Weapons of War and Leonardo." *The British Journal for the History of Science* 21, n° 2 (jun. 1988): 195-210.
- Strong, Edward W. *Procedures and Metaphysics*. Berkeley: University of California Press, 1936.
- Tartaglia, Niccolò. *Nova Scientia Inventa da Nicolo Tartalea*. Veneza: Stephano da Sabio, 1537.
- \_\_\_\_\_. *Quesiti et Inventioni Diverse de Nicolo Tartalea Brisciano*. Veneza: s.ed., 1546.
- \_\_\_\_\_. *La Nova Scientia de Nicolo Tartaglia con una Gionta al Terzo Libro*. 2ª ed. Veneza: Nicolo de Bascarini, 1550.
- \_\_\_\_\_. *Quesiti et Inventioni Diverse de Nicolo Tartaglia di Novo Restampati con una Gionta al Sesto Libro*. 2ª ed. Veneza: Nicolo de Bascarini, 1554
- \_\_\_\_\_. *Opere del Famosissimo Nicolo Tartaglia cioè Quesiti, Nova Scientia, Travagliata Inventione, Ragionamenti Sopra Archimede*. Veneza: s.ed., 1606.
- \_\_\_\_\_. *Quesiti et Inventioni Diverse de Nicolo Tartaglia di Novo Restampati con una Gionta al Sesto Libro*. 2ª ed. Intr. Arnaldo Masotti, 1554. Reimpresão fac-similar, Brescia: Ateneodi Brescia, 1959.
- Vaccaro, Daniel S. "La Tensión entre Estática y Dinámica Desde la Antigüedad Hasta el Renacimiento." *Scientiae Studia* 6, n 4 (out. 2008): 509-49.
- Wagner, David L, ed. *The Seven Liberal Arts in the Medieval Ages*. Bloomington: Indiana University Press 1986.
- Weisheipl, James A. "The Nature, Scope, and Classification of the Sciences" In *Science in the Middle Ages*, ed. David C. Lindberg, 461-482. Chicago: The University of Chicago Press, 1978.
- Wolfe, Jessica. *Humanism, Machinery and Renaissance Literature*. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2004.