

Instrumentos matemáticos na história da arquitetura

Mathematical instruments in architectural history

Ricardo de Souza Rocha*

Resumo: A historiografia recente vem tratando de investigar os vários âmbitos do fazer/saber, da prancheta de desenho até as instituições e redes de conhecimento, visando a um melhor entendimento das relações entre cultura material e saberes. O artigo propõe, assim, uma aproximação ao tema da utilização de instrumentos matemáticos na arquitetura, engenharia e construção. A discussão é de fundamental interesse para o entendimento, do ponto de vista da história da tecnologia, e da cultura material, das realizações de arquitetos, engenheiros e construtores, da Antiguidade ao início do século XX. Nesse sentido, inicia-se por comentar, brevemente, as relações entre história da matemática e a história da arquitetura. Em seguida, apresenta-se uma pequena história dos instrumentos matemáticos e sua aplicação no campo da arquitetura, com destaque para a tradição luso-brasileira da arquitetura ou engenharia militar.

Palavras-chave: Instrumentos matemáticos. História e cultura material. Arquitetura. Engenharia.

Abstract: Recent research has sought to relate the various aspects of the relation between material culture and knowledge, from the desktop to scientific institutions and networks. Thus, the article proposes an introduction to the theme of the use of mathematical instruments in architecture, engineering and construction. The discussion is pointed out as of interest for the evaluation, from the point of view of the history of technology and material culture, of the achievements of architects and engineers. We briefly comment on the relationship between the history of mathematics and the history of architecture, and then we present a history of mathematical instruments, with some emphasis on the Luso-Brazilian tradition of architecture or military engineering.

Keywords: Mathematical instruments. Material culture and history. Architecture. Engineering

* Arquiteto e historiador da arquitetura. Pós-Doutorado pela Universidade do Porto (Portugal). Professor-Associado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: ricardo.rocha@ufsm.br

Introdução

Por instrumento matemático será entendido, aqui, seguindo uma definição vitruviana para instrumento (*organo*), um objeto que pode ser operado por um único controlador, que o utiliza para a elaboração de cálculos matemáticos, construções geométricas, medições, etc. Para Vitruvius, o que distingue uma máquina de um instrumento é que uma máquina depende da ação de uma força maior e várias *interferências* para funcionar, ao passo que um instrumento pode ser operado através do controle de um só manuseador (*apud* MACIEL, 2006, X. I. 3).

Máquinas são necessárias para construções monumentais, para a movimentação de materiais pesados e de grandes dimensões, como as concebidas pelo famoso arquiteto renascentista Filippo Brunelleschi para a construção da Igreja de Santa Maria del Fiore (1418-1436), para a qual chega mesmo a inventar um barco para o transporte de materiais através do rio Arno. Instrumentos são utilizados na concepção e no *desenho*, quer no papel, quer no terreno, no caso de alguns instrumentos de medição como a *dioptra* grega.

Nessa direção, a régua, ou esquadro, e o compasso podem e devem ser entendidos também como instrumentos matemáticos. De fato, *Os Elementos* de Euclides (2009), como lembra a historiadora da matemática Tatiana Roque (2012), mostraria(m) tudo o que pode ser feito em geometria com a régua e o compasso. Nesse sentido, evidentemente, a história dos instrumentos matemáticos desde, pelo menos, o compasso, está estreitamente relacionada ao desenvolvimento da história da matemática.

De qualquer forma, parafraseando Lon Shelby (1965), até que a história de seus instrumentos seja adequadamente descrita, as realizações dos arquitetos, engenheiros e construtores, até a primeira metade do século XX, não poderão ser apropriadamente avaliadas desde o ponto de vista da história da tecnologia e da cultura material. Em sendo assim, este trabalho propõe uma primeira aproximação ao tema, baseando-se em pesquisas anteriores do autor (ROCHA, 2016), nas quais a tradição da arquitetura e da engenharia luso-brasileiras recebem algum destaque.

Do ponto de vista dos procedimentos teórico-metodológicos adotados, as pesquisas do citado Lon Shelby já indicavam o caminho a seguir,

embora Shelby se concentrasse na arquitetura medieval. Bill Addis (2016) e Dominique Tournès (2003) podem ser citados, assim, como autores contemporâneos em relação ao tema, na história da construção e na história da engenharia, respectivamente. Nessa direção, o cruzamento de informações sobre os instrumentos disponíveis na Antiguidade, assunto tradicional da arqueologia, com as pesquisas de autores como Shelby, Addis e Tournès, entre a história da tecnologia, da construção e da engenharia, conduzem naturalmente à necessidade paralela de investigar a história da matemática, como modo complementar de (re)construir nexos e contextos históricos.

Não obstante, para além desses campos, tradicionalmente mais próximos ao da história da arquitetura, pode-se, ainda, lembrar os estudos recentes na teoria historiográfica francesa sobre os *lieux de savoir* (JACOB, 2014). Parafraseando os conhecidos “lugares de memória” do historiador Pierre Nora, essa área de pesquisa cuida de investigar todos os âmbitos do fazer/saber, da prancheta de desenho ou da tela do computador, passando por escritórios e laboratórios, até as instituições e redes de conhecimento (e poder). É todo um universo de pesquisa que se abre, no entendimento das relações entre cultura material e fazer ciência, em sentido amplo.

Finalmente, cabe destacar que, não podendo dispor de afastamento e financiamento para dedicação exclusiva à pesquisa, visando a viagens e consultas a bibliotecas e museus, a constituição de uma biblioteca própria de tratados arquitetônicos antigos – o autor se refere, principalmente, a exemplares originais físicos (ROCHA, 2020) – e de uma coleção particular de instrumentos matemáticos (com mais de 50 itens) tornou-se algo fundamental, posto que apenas a consulta de exemplares digitais de tratados ou mesmo edições fac-similares, bem como a pesquisa digital sobre instrumentos, não são suficientes para um adequado aprofundamento do tema.

História da matemática e história da arquitetura

No que diz respeito às relações entre história da matemática e história da arquitetura, não apenas a *redescoberta* do tratado do engenheiro romano Vitruvius, mas também a retomada do filão da matemática clássica têm, ambos, papéis decisivos na construção (visual) de um mundo de formas a partir do Renascimento.

É o caso, por exemplo, da leitura neoplatônica de *Os Elementos*, que remonta ao filósofo grego Proclo Lício (412-485). Proclo, antecedido por Pappus de Alexandria (290-350), são considerados duas das fontes mais antigas sobre a matemática grega. Dentro dessa tradição de leitura representada por Proclo, determinadas figuras geométricas puras, construídas com esquadro e compasso, assumiriam um papel de expressão da verdade de uma beleza ideal, que garantiria ao produto arquitetônico dignidade e significado através de sua perfeição matemática e harmonia (SVENSHON, 2009). A recuperação renascentista da cultura clássica passa, assim, pela recuperação de parte dessa visão de mundo, com relação às formas *perfeitas*.

Tome-se como exemplo de permanência de tal leitura, ainda que de maneira híbrida, dois mil anos depois de *Os Elementos*, as *Advertências aos modernos que aprendem o ofício de pedreiro e carpinteiro* (1739), do mestre-pedreiro Valério Martins de Oliveira:

Tão breves e fáceis, como se verá. Para prova do que se alegam autores, e os *Elementos* de Euclides, compostos por aquele grande herói, o reverendíssimo Padre Mestre Manoel de Campos [...]. Tratarei principalmente dos triângulos e paralelogramos; e as proporções mais vistosas são as definições, em que tratarei somente das questões mais precisas ao nosso ofício de pedreiro e carpinteiro, como vêm a ser, diz o autor Campos, o que quer dizer ponto, e os seus triângulos, com todas as suas perfeições (1739).

Valério de Oliveira segue, provavelmente, a leitura do Padre Manoel de Campos (Lisboa 1681-1758) em seu *Os Elementos de geometria plana e sólida segundo a ordem de Euclides [...] para uso da Real Aula da Esfera do Colégio de Santo Antão da Companhia de Jesus de Lisboa Ocidental* (1735), escrito para a famosa Aula da Esfera, na qual o religioso era lente de matemática. Nesse sentido, mais adiante, nas *Advertências*, lê-se: “E por qual razão se moveram os antigos a ordenar todas as suas obras sobre o redondo e sobre o quadrado?” (p. 16). A resposta é uma espécie de comentário ao homem vitruviano, do qual derivam as figuras geométricas elementares do círculo, “a mais perfeita de todas”, e do quadrado. Por essa razão, seguindo o raciocínio do mestre pedreiro, “fizeram os mestres antigos estudo para que tudo o que lavrassem e edificassem se formasse sobre o redondo e sobre

o quadrado; e tudo o que se fizesse fora dessas duas figuras, seja tido por falso e não natural” (OLIVEIRA, 1739, p. 16).

Há, portanto, uma naturalização das formas geométricas puras, o círculo e o quadrado, que não só seriam encontradas na natureza, como estariam presentes no próprio homem. A última frase, entretanto, parece só poder ser convenientemente entendida no contexto de uma compreensão mais ampla da matemática clássica, para além de Euclides. Pappus, por exemplo, propõe que

os antigos consideravam três classes de problemas geométricos, chamados “planos”, “sólidos” e “lineares”. Aqueles que podem ser resolvidos por meio de retas e círculos [esquadro e compasso] são chamados “problemas planos” [...]. Mas problemas cujas soluções são obtidas por meio de uma ou mais seções cônicas são denominados “problemas sólidos” [...], uma terceira classe, que é chamada “linear” porque outras “linhas” [...] além daquelas que acabei de descrever, são requeridas para sua construção [...] as espirais, a quadratriz, o conchoide, o cissoide (*apud* ROQUE, 2012, p. 153).

Como escreve Tatiana Roque, fora da tradição euclidiana,

foram muitas as tentativas de resolução que empregavam novos métodos na construção de soluções para os problemas clássicos [a quadratura do círculo, a duplicação do cubo e a trissecção do ângulo, tais como] a *neusis*, cônicas ou outras curvas e instrumentos mecânicos inventados especificamente para esse fim (2012, p. 200).

É o caso do conchoide de Nicomedes (c. 280-210 a.C.) referido por Pappus e discutido na sequência. A principal referência dentro dessa outra tradição seria Arquimedes de Siracusa (287-212 a. C.). Em *O Método*, enviado por Arquimedes para Eratóstenes de Cirene (séc. III a. C.), ele utiliza raciocínios de origem mecânica, do campo da física, para *equilibrar* grandezas geométricas, como se essas pudessem ser dispostas sobre uma balança abstrata.

Se *Os Elementos* têm grande valor pedagógico, como conhecimento *básico*, as obras de Arquimedes se enquadrariam mais como uma espécie

de matemática avançada da Antiguidade que se utiliza de outras ferramentas, como a mecânica, em uma versão *especulativa*. Do ponto de vista especulativo, as bases da mecânica clássica foram lançadas por Aristóteles que, em sua *Física*, destacava a importância da observação da natureza (*phýsis*) e dos estudos sobre o movimento dos corpos. Contudo, será com as *Quaestiones Mechanicae*, inicialmente atribuídas ao filósofo, e, para alguns, elaboradas pelo pensador pitagórico Arquitas de Tarento (WINTER, 2007), que se alcançará um maior desenvolvimento. Deve-se às *Questões Mecânicas* a definição mais antiga sobre as máquinas: “Quando é necessário fazer algo contra a natureza, há perplexidade diante da dificuldade, então a arte (*techne*) é requerida. Chama-se a esta solução da perplexidade um *mechane* [...]. É assim que [...] coisas com pouco *impetus* movem grandes pesos” (WINTER, 2007, p. 1; GARCÍA, 2000).

É nesse contexto que, talvez, possa ser entendida a frase: “E tudo o que se fizesse fora destas duas figuras [redondo e quadrado], seja tido por falso e não natural.” Fora da tradição euclidiana, as formas são construídas com *mechane*, com astúcia, com instrumentos outros que não só com esquadro e compasso simples.

Pequena história dos instrumentos matemáticos

Depois, provavelmente, da régua, o mais antigo dos instrumentos matemáticos talvez seja o esquadro, já presente no antigo Egito – duas *réguas* perfazendo um ângulo de 90° são mostradas em uma tumba real (SHELBY, 1965, p. 244; SENÉ, 1970). Na Grécia, as referências existentes não dão informações suficientes sobre as especificidades técnicas de sua construção. Elas aparecerão com um pouco mais de detalhes entre os romanos, nas sepulturas dos construtores da época, indicando o uso, pelo menos, de dois modelos. Um semelhante ao que existia no Egito, outro construído subtraindo-se um ângulo reto de uma prancha. Já na Idade Média, Shelby cita um terceiro tipo, com um dos braços curvo, para a realização de arcos. A teoria de B. G. Morgan (*apud* SHELBY, 1965), sobre alguns desses esquadros, é que eles definiriam um sistema proporcional baseado em triângulos e retângulos, constituindo, portanto, uma ferramenta de trabalho bem mais sofisticada que as anteriores.

A história do compasso, por sua vez, começaria na Grécia. Segundo uma lenda, ele teria sido inventado pelo mitológico Perdix, sobrinho de Dédalo (arquiteto do Labirinto do Minotauro). Os gregos usavam três instrumentos diferentes para traçar círculos: *tornos*, *karkinos* e *diabetes*. Para Shelby (1965) o primeiro estaria relacionado à maneira mais simples de desenhar mecanicamente um círculo, utilizando uma corda e um ponto fixo. Posteriormente, já aparecerão, além dessa maneira mais elementar de operar com círculos, e dos compassos simples propriamente ditos, compassos de redução. Essa espécie de compassos continuará em uso até o século XX. Entre os romanos haveria, ao menos, três espécies de compasso: o *Dividers*, termo em inglês para compassos simples de ponta seca; outro tipo com pernas curvas, para medir pequenos objetos e, também, *proportional dividers*, ou compassos de redução para ampliar e reduzir desenhos.

Ainda em relação à Grécia, ou à cultura helenística, Nicomedes parece ter desenvolvido um instrumento matemático para traçar suas curvas conchoides, utilizadas na resolução de problemas clássicos, antes referidos – e que, talvez, tenha servido de referência para Filippo Brunelleschi para a construção da cúpula de Santa Maria del Fiore, em Florença. Heron de Alexandria (18-85 a. C.), por sua vez, possui um trabalho sobre a dioptra, espécie de teodolito com nível-d'água, e, no livro sobre mecânica, fala sobre um pantógrafo, utilizado para copiar figuras (Figura 1). O nome de Heron assume importância na história da *tradição mecânica*, pois seus textos tiveram ampla divulgação. Embora seja de se lamentar o fato de que seu livro sobre *arqueação* tenha sido perdido, por outro lado, seus trabalhos ainda aguardam exame mais atento, dentro da história da arquitetura e da construção. Tendo identificado em *O Método*, de Arquimedes, raciocínios passíveis de serem aplicados na construção de abóbadas, Heron tem seu tratado comentado por Isidoro de Mileto (séc. VI). Outro comentador de Arquimedes, Eutócio de Ascalon (c.480-540), pode ter sido aluno de Isidoro e amigo de Antêmio de Trales (c.474-534). Deve-se lembrar que Isidoro e Antêmio são os responsáveis pela construção da Igreja de Santa Sofia, em Istambul.

Figura 1 – Pantógrafo moderno de fabricação japonesa (Takeda)



Fonte: Coleção do autor. Reprodução do autor.

Existe, portanto, uma continuidade de estudos sobre a mecânica, como ramo da física que dá origem à estática e precede à resistência dos materiais, durante os períodos da Antiguidade tardia, Idade Média e Renascimento, como corrente complementar e interligada à transmissão de conhecimentos de matemática (geometria) e construção desde a Grécia.

Interessante, nesse sentido, do ponto de vista da história da profissão de arquiteto, é que a tradição de estudos de mecânica atinge um de seus pontos altos no Império Bizantino, onde os idealizadores da *Hagia Sofia* (cuja tradução correta seria “sabedoria sagrada” e não “Santa Sofia”), os mencionados Isidoro de Mileto e Antêmio de Trales eram conhecidos por *mechanikos*, categoria profissional acima do *architekton*.² Em Vitruvius, a

² Para Vitruvius: “passam além do ofício de arquiteto, tornando-se matemáticos, aqueles a quem a natureza atribuiu inteligência, agudeza de espírito e memória, de modo a poderem ter um conhecimento profundo de geometria, astronomia, música e outras

mecânica refere-se tanto ao problema da *firmitas* (a questão construtiva) quanto ao uso de máquinas. O Livro X de *De Architectura* – portanto, era parte do *encyclios disciplina*, o conjunto de estudos, geometria, música, astronomia, etc., necessários à formação de um arquiteto. Esse aspecto parece importante, pois a necessidade de conhecimentos de mecânica está presente, de maneira explícita, na formação do *arquiteto* da Antiguidade clássica, do mundo bizantino, da Idade Média (consultar, por exemplo, o Caderno de Villard de Honnecourt), e do Renascimento (Brunelleschi, Leonardo da Vinci, etc.).

Retomando a pequena história dos instrumentos matemáticos, em relação à Idade Média, Shelby (1965) aponta que, apesar de registros do uso de certos tipos de compasso por *scholars*, como o de três pernas, não haveria evidência da utilização de outros compassos pelos mestres-pedreiros para além dos compassos simples – entre os quais o *grande* compasso. A maior utilização do *pequeno* compasso, no final do período, ainda segundo o autor, apontaria à importância crescente do desenho nos processos de concepção de obras de arquitetura.

O mesmo Shelby é responsável por um importante estudo dos *moldes* planos utilizados pelos mestres medievais para produzir artefatos tridimensionais em pedra, “empregando uma geometria prática que os habilitava a manipular formas geométricas para produzir resultados que eles não podiam explicar matematicamente” (SHELBY, 1971, p. 150).

A flor de Brunelleschi

Embora sejam conhecidos, desde a Antiguidade, outros instrumentos como o elipsógrafo – utilizado para desenhar elipses – como os concebidos por Arquimedes e Leonardo da Vinci, sua aplicação na arquitetura e engenharia, em suas épocas, não é disseminada ou comprovada. Em sendo assim, sem maiores informações sobre o uso de instrumentos para além da régua, do esquadro e do compasso na Antiguidade, e desses e dos moldes

ciências” (*apud* MACIEL, 2006, I. I. 17). Como exemplos, entre outros citados pelo arquiteto romano, aparece o nome dos mencionados Arquitas de Tarento, Eratóstenes de Cirene e Arquimedes de Siracusa.

na Idade Média, em relação ao Renascimento, um dos trabalhos mais instigantes sobre os possíveis métodos utilizados por Brunelleschi para a construção da cúpula de Santa Maria del Fiore (1418-1436), em Florença, foi desenvolvido pelo pesquisador italiano Massimo Ricci, professor na universidade da famosa cidade italiana, berço do Renascimento, a partir do conchoide de Nicomedes.

Invertendo o raciocínio do instrumento criado por Nicomedes, para descrever curvas conchoides, Ricci desenvolveu um modo de construção de uma cúpula octogonal a partir das mesmas. Para atestar a exequibilidade de seu método, o pesquisador italiano, auxiliado por uma equipe, erigiu uma cúpula com um quinto do tamanho da cúpula de Santa Maria del Fiore. O instrumento de Nicomedes que descreve um conchoide consiste de uma régua fixa que serve de guia para um braço duplamente articulado (na régua-guia e em um suporte ortogonal a ela) que desenha a curva (Figura 2). Invertendo o raciocínio do mecanismo de Nicomedes, é possível descrever retas através de curvas conchoides. No caso de Santa Maria del Fiore, um arco conchoide, oposto a cada lado do domo octogonal, permitiria estabelecer um sistema de referências para sua execução sem apoios centrais – um dos pontos críticos relacionados aos problemas enfrentados por Brunelleschi durante a construção. Ao invés de ter sido erigida como uma cúpula *circular*, a hipótese de Ricci é que Brunelleschi utilizou uma metodologia radial, um sistema de *cordas* radiais passando por eixos centrais e ligadas a uma estrutura fixa de referência, baseada em arcos conchoides. Com isso, uma espécie de flor seria desenhada nos andaimes, daí o título de um dos trabalhos do pesquisador florentino (RICCI *et al.*, 2010).

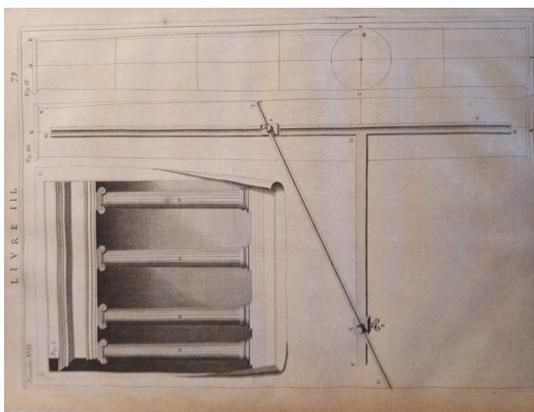
Essa engenhosidade de Brunelleschi encaixa-se, com perfeição, na descrição de Pappus de Alexandria sobre o que definiria a ciência mecânica e quais seriam as qualificações necessárias a um inventor e mestre-construtor

lidando com a natureza dos elementos materiais do universo. A estabilidade e o movimento dos corpos ao redor de seus centros de gravidade, e seus movimentos no espaço, inquirindo as causas não somente daqueles que movem-se em virtude de sua natureza, mas também os que movem outros de seu lugar em um movimento contrário à sua natureza [...]. A mecânica pode ser dividida

em uma parte teórica e outra manual; a primeira é composta pela geometria, aritmética, astronomia e física; a segunda, pelo trabalho com metais, construção, carpintaria, pintura. Aquele que for treinado [...] naquelas ciências e pratique estas artes [...] será o melhor inventor de mecanismos e mestre-construtor (SCHIBILLE, 2009).

Nessa mesma direção de investigação, da base matemática e técnica essencial para a transformação de conceitos em estruturas reais (SVENSHON, 2009), chegando, eventualmente, a compreender como essas foram construídas, tijolo por tijolo, com as ferramentas e os meios disponíveis em sua época (RICCI *et al.*, 2010), é possível lembrar de outro uso atribuído ao instrumento criado por Nicomedes para as curvas conchoides. Na sequência de François Blondel (1618-1686), tanto o segundo volume da *Manière universelle de M. Desargues pour pratiquer la perspective par petit-pied comme le géométral* (1648), de Abraham Bosse, quanto *Les dix livres d'architecture de Vitruve* (1673), de Claude Perrault, irão estampar o instrumento de Nicomedes e o traçado de uma conchoide para a questão da êntase, ou curvatura, de uma coluna, como processo de correção ótica para uso das ordens de arquitetura (Figura 2).

Figura 2 – Instrumento para descrever conchoide aplicado à êntase



Fonte: *Vitruve*. Perrault (1673). Reprodução do autor.

O compasso de proporção

Outro instrumento matemático utilizado na arquitetura e na construção, para além do trio régua, esquadro e compasso simples, bastante sofisticado em suas versões mais complexas, é o compasso de proporção. Sua invenção é normalmente associada a Galileu Galilei (1564-1642) e ao inglês Thomas Hood (1556-1620), ambos tendo criado modelos no final do século XVI.³

Em inglês, o compasso de proporção é conhecido como *sector*, o que facilita sua distinção. Em outros idiomas, como no português, o mesmo termo, *compasso de proporção*, acaba sendo utilizado para instrumentos diferentes. Pode-se distinguir pelo menos três: o compasso de redução simples, como dito, conhecido desde a Antiguidade clássica; o compasso de *redução* dotado de charneira móvel e que inclui escalas para relação entre linhas e, eventualmente, para a inscrição de polígonos em círculos, podendo chegar a ter até quatro escalas; e o compasso de proporção propriamente dito, com junta na extremidade, que é um instrumento matemático bem mais complexo. No século XVIII, ele era conhecido como *pantômetra*, ou *pantômetro*. Ao que parece, Galileu o desenvolveu quando dava aulas particulares de arquitetura militar, a partir de instrumentos utilizados pelos artilheiros, o que testemunha seu caráter *pedagógico*.

Os compassos de *redução* com charneira são mais utilizados para aumentar ou reduzir desenhos. Na escala das linhas, esse tipo de compasso permite estabelecer proporções entre as medidas definidas pela abertura de suas quatro pontas (duas em cada extremidade), 1:2, 1:3, 1:4, etc. A escala dos círculos permite inscrever polígonos regulares em um círculo. Além dessas, um compasso de *redução* com charneira móvel poderia incluir, ainda, uma linha dos planos, para raízes quadradas, e a dos sólidos, para raízes cúbicas. É o caso de um exemplar pertencente à coleção do autor, de fabricação inglesa (Figura 3). O que talvez se explique em vista de o sector (TOMASH; WILLIAMS, 2003) possuir outras escalas (senos, tangentes, secantes, etc.). Daí sua confusão eventual com o compasso de proporção propriamente dito ou pantômetra (Figura 4).

³ Atualmente, entretanto, costuma-se retroceder aos protótipos de Fabrizio Mordente, Federico Commandino, Guidobaldo del Monte. Ver: Severino (2009) ou, até mesmo, de Leonardo da Vinci. Ver: Hénin (2012). Sobre Galileu ver Drake (1976).

Figura 3 – Compassos de proporção: com escala decimal *universal* (acima) e de fabricação inglesa (sécs. XVIII-XIX) com quatro escalas (abaixo)



Fonte: Coleção do autor. Reprodução do autor.

Figura 4 – Compassos de proporção (pantômetros): de fabricação francesa em latão (acima) e *sector* em madeira de fabricação inglesa (abaixo).



Fonte: Coleção do autor. Reprodução do autor.

O compasso de proporção, com junta na extremidade (pantômetro), incluiria a maioria das escalas anteriores (com exceção da proporção entre linhas) e outras mais, variando de modelo para modelo – como as linhas dos metais, para encontrar o peso de uma esfera em diferentes materiais, linha das latitudes, etc.

Uma história do uso do compasso de proporção na arquitetura ainda está para ser escrita.⁴ Ela, certamente, dará especial atenção ao *archisesto* inventado pelo arquiteto italiano Ottavio Revesti Bruti e seu manual de utilização *Archisesto per formare con facilità le cinque ordini d'architettura* (c.1627), visando desenhar as ordens de arquitetura respeitando suas proporções, mas sem o recurso de cálculos aritméticos. A *joint rule* (*sector*) descrita por John Brown(e) em *The Mirror of Architecture* (1687) também deverá ser destacada, entre outras obras mais ou menos conhecidas.

Alguns trabalhos, que citam instrumentos como “compassos de perspectiva”, e que foram dedicados especificamente ao assunto, seriam: *Abregé ou raccourcy de la perspective [...] par l'ayde d'un compas de perspective fait pour cet effect* in 1631, de Jean Louis de Vaulezard; o perdido *Livret de perspective adressée aux theoriens*, de Girard Desargues; o tomo segundo da *Manière universelle de M. Desargues pour pratiquer la perspective par petit-pied comme le géométral* (1647), de Abraham Bosse; *Kurzgefasste regeln zu perspectivischen Zeichnungen*, (Regras concisas para desenhos em perspectiva) do matemático Johann Heinrich Lambert.

Passando à tradição da *arquitetura* militar portuguesa, Luís Serrão Pimentel não menciona o compasso de proporção no *Método lusitânico para desenhar as fortificações das praças regulares, irregulares, fortes de campanha e outras obras pertencentes à arquitetura militar* (1680), o livro mais importante dessa tradição até o século XVIII. Contudo, um manuscrito de Manoel Pinto de Vilalobos – que foi aluno do filho de Serrão Pimentel – o faz, intitulado-o *Tratado do uso do pantômetra de desenhar as fortificações assim do lado do polígono exterior para fora, como do lado do polígono exterior para dentro, nas figuras tanto regulares como irregulares pelo método de Luís Serrão Pimentel* (ca.1690). O método de Serrão Pimentel, ao qual se refere Vilalobos,

4 Um apanhado relativamente completo dos instrumentos matemáticos em uso até o séc. XVIII encontra-se em Bion (1723).

não é o uso do pantômetra, mas o desenho desde o polígono exterior para fora, como do exterior para dentro. O uso do instrumento, na engenharia militar, contudo, era conhecido em Portugal desde, pelo menos, meio século antes (GESSNER, 2011). Isso é possível de ser averiguado, consultando a *Aritmética prática geométrica logarítmica* ou *A arquitetura militar* (c. 1638 cf. GESSNER, 2011) do padre jesuíta Ignácio Stafford (1599-1642), um exilado católico, professor no Colégio de Santo Antão, escola pioneira no ensino básico de fortificação na Península Ibérica (OLIVEIRA, 2013).

A *descontinuidade* no seu emprego, talvez, possa ser atribuída ao fato de que, tendo lecionado no Colégio de Santo Antão, entre 1630-1636, ele retorna, a seguir, para Castela – lembrando que estamos no reinado de Filipe II, durante a União Ibérica – viajando ao Brasil entre 1640 e 1641 e falecendo em Lisboa, em 1642.

Já o manual que substituirá o *método*, de Serrão Pimentel, *O engenheiro português* (1728-1729), de Manoel de Azevedo Fortes, dedica quase 30 páginas a operações com esse compasso, curiosamente dispensando seu uso na artilharia, ciência na qual os engenheiros deveriam, segundo ele, ser ao menos “mediocrementemente instruídos”.

Mais próximo do universo da colônia brasileira, José Fernandes Pinto Alpoim (1700-1765), apesar de não comentar sobre o compasso de proporção no seu *Exame de artilheiros* (1744), tratará do mesmo no mais detalhado *Exame de bombeiros* (1748), na parte dedicada à trigonometria, lembrando que os dois tratados abordam a mesma temática.

Finalmente, para Antônio José Moreira, autor de um dos últimos manuais da tradição da arquitetura/engenharia militar luso-brasileira setecentista, as *Regras de desenho para delineação das plantas, perfis e perspectivas pertencentes à arquitetura militar e civil* (1793), “entre todos os instrumentos que o engenheiro precisa servir-se, nenhum há que tenha tanto uso e facilite mais a prática de toda a teoria da geometria” (MOREIRA, 1793, p. 17). Com efeito, ao tratar do instrumento matemático, Moreira explica suas aplicações em mais de 40 páginas(!).

No contexto da arquitetura, ou engenharia militar luso-brasileira do setecentos, o compasso de proporção,⁵ constitui, portanto, o instrumento

⁵ Gessner (2011) apresenta a imagem de um pantômetra com o nome das escalas em português.

mais sofisticado para operações geométricas – e sofisticação, aqui, significa tornar tais operações mais simples. Esse aspecto é significativo na medida em que, nesse momento, começam a ficar disponíveis outros instrumentos matemáticos, como as régua de cálculo, por exemplo, companheiras absolutas dos engenheiros até a disseminação das calculadoras científicas na segunda metade do século XX.

Considerações finais

Da mesma forma que podemos identificar duas tradições principais de leitura de *Os Elementos*, de Euclides – uma mais erudita, relacionada à longa série de comentários e comentaristas ao passar dos séculos; e outra mais atrelada ao seu caráter pedagógico, ligando-se aos aspectos práticos, quer da geometria prática propriamente dita, quer de sua utilização dentro dos ofícios mecânicos – é possível falar de aspectos complementares em meio a abordagens históricas dos estudos mecânicos. Tanto quanto uma mecânica mais especulativa haveria, também, uma mecânica prática, a da construção de máquinas, e uma linha mais pedagógica, com a qual a história dos instrumentos matemáticos se confunde, ao se proporem facilitar operações geométricas, cálculos, etc. Esse caráter pedagógico está nitidamente presente nos tratados de Fortes e Moreira, preocupados em regular, normatizar, e *reduzir* a regras simples e fáceis o ofício dos engenheiros ou arquitetos militares.

Facilitadores por um lado, e permitindo operações cada vez mais complexas, por outro, não é preciso muita perspicácia para considerar esses instrumentos matemáticos como precursores analógicos dos programas de desenho e cálculo por computador na arquitetura e na engenharia atuais. De fato, a régua de cálculo e o uso de nomogramas (gráficos de cálculo) precedem às calculadoras, antepassados um tanto primitivos dos atuais computadores. Outros instrumentos, como os planímetros – para medição de áreas irregulares em desenhos e mapas – também foram utilizados até a revolução eletrônica e digital. Em suma, tendo-se em vista tais aspectos, trata-se de um amplo campo de pesquisa, relativamente inexplorado, entre a história da cultura material e os vários saberes, por um lado, e, de outro, entre a história da ciência e sua aplicação à arquitetura e à engenharia (tecnologia).

Referências

- ADDIS, Bill. *Some reflections on construction history and how it may develop*. In: CIHCLB, 22., 2016, Porto. *Anais [...]. Porto, Universidade do Porto*, 2016. p. 61-75. v. 1.
- ALPOIM, José. *Exame de artilheiros*. Rio de Janeiro: Xerox do Brasil, [1744]. 1987.
- ALPOIM, José. *Exame de bombeiros*. Madrid: Oficina de Francisco Martinez Abad, 1748.
- ARISTÓTELES. *Sobre las líneas indivisibles/mecánica*. Madrid: Gredos, 2000.
- BION, Nicholas. *The construction and principal uses of mathematical instruments*. Londres: 1723.
- BOSSE, Abraham. *Manière universelle de M. Desargues...* Paris: Imp. Pierre des Hayes, 1647.
- BROWNE, John. *The mirror of architecture*. Londres: W. Fisher, 1687.
- CAMPOS, Pe. Manoel de. *Elementos de geometria plana e sólida segundo a ordem de Euclides*. Lisboa: Oficina Rita-Cassiana, 1735.
- DRAKE, Stillman. Galileo and the first mechanical computing device. *Scientific American*, n. 234, p. 104-113, 1976.
- EUCLIDES. *Os Elementos*. São Paulo: Ed. da Unesp, 2009.
- FORTES, Manoel A. *O engenheiro português*. Lisboa: Manoel F. da Costa, 1728.
- ORTIZ GARCIA, Paloma. Sobre las líneas indivisibles. *Mecánica (Aristóteles)*. Óptica. Catóptrica. Fenômenos (Euclides). Introducción, traducción y notas de Paloma Ortiz Garcia. Madrid: Gredos, 2000.
- GESSNER, Samuel. The conception of a mathematical instrument and its distance from the material world: the Pantometra in Lisbon, 1638. *Studium*, v. 4, n. 4, p. 210-227, 2011.
- HÉNIN, Silvio. *Early italian computing machines and their inventors*. In: TATNALL, A. (ed.). *Reflections on the history of computing*. Springer, 2012. p. 203-229.
- HONNECOURT, Villard de. *Cuaderno*. Madrid: Akal, 1991.
- JACOB, Christian. *Qu'est-ce qu'un lieu de savoir?* Marseille: Open Edition Press, 2014.
- VITRÚVIO. *Tratado de arquitectura*. Tradução do latim, introdução e notas por M. Justino Maciel. Lisboa: IST Press, 2006.
- MOREIRA, Antônio José. *Regras de desenho para delineação das plantas, perfis e perspectivas pertencentes à arquitetura militar e civil*. Lisboa: Tipografia J. A. Silva, 1793.
- OLIVEIRA, Mário de. A engenharia militar de batina. *Construindo*, v. 5, n. 2, Belo Horizonte, 2013.
- OLIVEIRA, Valerio Martins de. *Advertências aos modernos que aprendem o ofício de pedreiro e carpinteiro*. Lisboa: Oficina Régia Silviana, 1757.

- PERRAULT, Claude. *Les dix livres d'architecture de Vitruve*. Paris: J. P. Coignard, 1673.
- PIMENTEL, Luís Serrão. *Método lusitânico para desenhar as fortificações das praças regulares, irregulares, fortes de campanha e outras obras pertencentes à arquitetura militar*. Lisboa: Imprensa de Antônio Craesbeck de Mello, 1680.
- RICCI, Massimo et al. *Building Brunelleschi's Dome: a practical methodology verified by experiment*. *Journal of the Society of Architectural Historians*, Berkeley, v. 69, n. 1, p. 39-61, 2010.
- ROCHA, Ricardo. *Instrumentos matemáticos e sua utilização no campo da construção: análise de três tratados portugueses setecentistas*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO, 2., 2016, Porto. *Anais [...] Porto: Universidade do Porto*, 2016. p. 605-616. v. 2.
- ROCHA, Ricardo. *História da arquitetura e construção luso-brasileira: leituras, livros e bibliotecas*. São Paulo: Edusp (no prelo).
- ROQUE, Tatiana. *História da matemática*. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.
- SCHIBILLE, Nadile. *The profession of architect in late antique Byzantium*. *Byzantion*, n. 79, p. 360-379, 2009.
- SENÉ, Alain. *Un instrument de précision au service des artistes du Moyen Âge: l'équerre*. *Cahiers de Civilisation Médiévale*, n. 52, p. 349-358, 1970.
- SEVERINO, Nicola. *Il compasso di proporzione, o settore: un'invenzione di Galileo?* 2009. Disponível em: <https://tinyurl.com/sow5akv>. Acesso em: 22 dez. 2019.
- SHELBY, Lon. *Mediaeval masons' Tools II. Compass and square. Technology and Culture*, Baltimore, v. 6, n. 2, p. 236-248, 1965.
- SHELBY, Lon. *Mediaeval Masons' templates*. *Journal of the Society of Architectural Historians*, Berkeley, v. 30, n. 2, p. 140-154, 1971.
- SVENSHON, Helge. *Heron of Alexandria and the dome of Hagia Sophia in Istanbul*. In: TOMASH, Erwin; WILLIAMS, Michael. *Proceedings of the third International Congress on Construction History*. Cottbus, 2009. *The Sector: its history, scales, and uses*. *IEEE Annals of the History of Computing*, v. 25, n. 1, 2003.
- TOURNÈS, Dominique. *Du compas aux integraphes: les instruments du calcul graphique*. *Reperes-Irem*, n. 50, p. 63-84, 2003.
- VILALOBOS, Manoel Pinto de. *Tratado do Uso do pantômetra de desenhar as fortificações assim do lado do polígono exterior para fora, como do lado do polígono exterior para dentro, nas figuras tanto regulares como irregulares pelo método de Luís Serrão Pimentel (ca. 1690)*. Lisboa: Biblioteca Nacional de Portugal. *Cod.* 13.201.
- WINTER, Thomas. *The mechanical problems in the corpus of Aristotle*. Lincoln: Nebraska, 2007.