



## ESBOÇO DE UMA GENEALOGIA DA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ESTRUTURAS

SANTOS, Roberto Eustáquio (1); KAPP, Silke (2); SILVA, Athos Souza e (3)

(1) UFMG, ro1234ro@gmail.com; (2) UFMG, kapp.silke@gmail.com; (3) UFMG, athosilva7@gmail.com

### RESUMO

Apesar da disponibilidade de *softwares* de modelagem paramétrica, prevalecem no ensino de estruturas representações gráficas simplificadas, reduzidas a linhas, pontos e triângulos, tal como na engenharia do século passado. Elas indicam relações entre elementos, mas abstraem, paradoxalmente, a materialidade das construções que o estudo das estruturas deveria assegurar. O presente texto é uma tentativa de reconstituir a genealogia desse tipo de representação. Partimos da geometria operativa dos construtores pré-renascentistas, em que desenhos eram instrumentos de canteiro. Tomamos por hipótese uma transformação subsequente em três fases, por princípio sucessivas, mas por vezes sincrônicas em diferentes lugares e campos do conhecimento. A primeira é exemplificada por desenhos de Brunelleschi e Leonardo da Vinci, que sugerem uma representação que antecipa o processo de construção em si. Desenham-se ações futuras. A segunda fase caracteriza a tradição dos tratados de arquitetura pós-renascentistas e se estende até fins do século XVII. A representação se concentra na imagem da estabilidade. Desenha-se o produto que a imaginação prevê e que parece estável aos olhos. A terceira fase é inaugurada pelas ilustrações de Galileu e entra no campo da construção lentamente, até se aprimorar no século XIX. Nesse caso, os desenhos de concepção estrutural deixam de representar uma ação sobre a matéria ou uma imagem do produto material e se tornam instrumentos de cálculo.

**Palavras-chave:** Representação gráfica; Visualização; Geometria.

### ABSTRACT

*Despite the available software for parametric modelling, structure teaching still uses mostly simple graphical representations, restricted to lines, points and triangles, as in past century engineering. They indicate relations among elements, but paradoxically abstract from the materiality of constructions, which the study of structures should ensure. This paper is an attempt to reconstitute the genealogy of such representations. We begin with the operative geometry of pre-Renaissance master builders, who used drawings as construction tools. Our hypothesis is a subsequent transformation in three stages, successive in principle, but sometimes used synchronically in different places and fields of knowledge. Sketches from Brunelleschi and Leonardo da Vinci exemplify the first stage, suggesting a representation that anticipates the very construction process. They are drawings of future actions. The second stage characterizes the tradition of post-Renaissance architecture treatises, until the late seventeenth century. Representations aim at an image of stability. They show a product anticipated by imagination that seems stable to the eyes. The third stage begins with Galileo's drawings, only slowly migrating into the construction field, until being improved in the nineteenth century. In this case, structural drawings cease to represent an action upon matter or an image of a material product, and become calculation tools.*

**Keywords:** Graphical representation; Visualisation; Geometry.

## 1. INTRODUÇÃO

997

Hoje estão disponíveis no mercado diversos programas de modelagem paramétrica, a partir dos quais é possível fazer roteiros, animações, simulações e uma ampla gama de efeitos visuais aplicados a videogames, desenhos animados, filmes e também a projetos de arquitetura e estrutura (Quadro 1). Alguns desses *softwares*, como o SAP 2000, ultrapassam a visualização e permitem a chamada modelagem dinâmica. Eles operam com matemática discreta, dando margem à criação de formas complexas, amplamente empregadas na arquitetura contemporânea de caráter monumental.

Quadro 1 – Softwares de programação paramétrica e análise estrutural.

<b>PROGRAMAÇÃO VISUAL</b>	
Catia – Computer Aided Three-dimensional Application	
Autodesk 3ds Max	
Autodesk Maya	
Grasshopper ( <i>plug-in</i> para o Rhinoceros)	<b>Plug-ins de análise estrutural para Grasshopper</b>
Autodesk Dynamo (acesso livre)	Kangaroo Physics
GenerativeComponents - GC	Karamba
Marionette	BullAnt
Modelur ( <i>plug-in</i> de modelagem de paisagens no SketchUp)	Kangaroo Physics
Archimatrix	Karamba
<b>BIM – BUILDING INFORMATION MODELING</b>	BullAnt
Autodesk Revit	Hummingbird
ArchiCad	Mantis
Bentley Architecture	
Revit Architecture	
Tekla	
Vectorworks Architect	
<b>CÁLCULO ESTRUTURAL (complementares)</b>	
Revit Structure	
Tekla Structures	
CSI SAP2000	
CSI ETAB	
TQS	
CYPECAD	

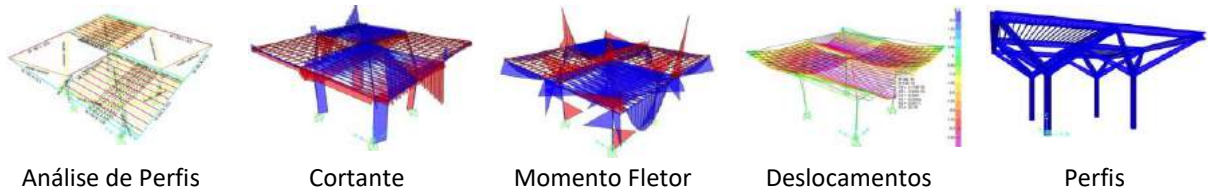
Fonte: Os autores, 2017.

De acordo com os fornecedores, os programas de cálculo estrutural indicados no Quadro 1 operam com quaisquer materiais estruturais, exceto pelo TQS (somente para estruturas de concreto armado, protendido e pré-fabricado e alvenaria estrutural) e pelo CYPECAD (somente

para concreto armado e estruturas mistas de concreto e aço). Todos eles possibilitam visualização tridimensional dos elementos de análise estrutural, sendo que o Revit, o Tekla Structures e o CSI SAP 2000 permitem também a visualização realística da estrutura e das seções de seus componentes. A Figura 1 ilustra os gráficos de análise dos perfis, da cortante, do momento fletor e dos deslocamentos da estrutura deste último programa.

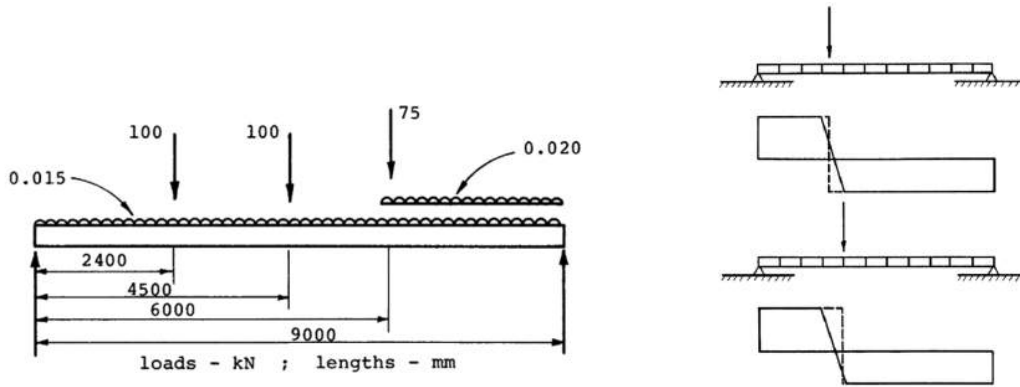
998

Figura 1 – Gráficos de análise estrutural no SAP 2000.



Fonte: Adaptado de gráficos gerados por Marina Ferreira Borges no Programa CSI SAP2000.

Figura 2 – Representação de estruturas em *softwares* dos anos 1980.



Fonte: Harrison (1990, p.12 e 16).

Figura 3 – Representações gráficas de estruturas utilizadas no ensino de arquitetura nos anos 2010.

### 2.2 – Hipóteses simplificadoras

- Estruturas de barra (razão 1/10):
  - Viga, pilar, escora, tirante, contraventamento, etc.
  - Teoria clássica de Euler-Bernoulli

#### Estruturas reticuladas

**REPRESENTAÇÃO** – linhas de eixo, sem dimensões na seção transversal.

**CLASSIFICAÇÃO:**

1. Estruturas reticuladas planas:
  - 1.a. com carregamento no seu plano
  - 1.b. com carregamento perpendicular ao seu plano
2. Estruturas reticuladas espaciais.

Fonte: Material didático das disciplinas Análise Estrutural I (2016) e Resistência dos Materiais II (2017) do curso de Arquitetura e Urbanismo (noturno) da Escola de Arquitetura da UFMG.

Programas como o SAP 2000 possibilitam associar representações abstratas de cunho matemático com sua imagem física, de forma rápida e simples. Essa visualização dos efeitos do carregamento sobre as estruturas poderia ser benéfica ao ensino de arquitetura porque fornece subsídios sobre a interferência das estruturas no espaço (ainda que não lhes confira uma dimensão material, possível somente no canteiro de obras). No entanto, apesar da disponibilidade desses sofisticados programas de modelagem paramétrica e análise estrutural, as representações gráficas que prevalecem no ensino de estruturas para arquitetos são os mesmos esquemas de linhas, pontos, setas e triângulos que predominaram na engenharia do século passado e também nos primeiros ambientes digitais de cálculo (Figuras 2 e 3). Elas indicam, de modo sumário, relações entre vigas, pilares, apoios e engastes, abstraído, paradoxalmente, a materialidade das construções que o estudo das estruturas deveria assegurar. Os elementos estruturais são representados como se fossem relações matemáticas sem matéria.

Ademais, programas compatíveis com a plataforma BIM – *Building Information Modeling* – operam também com informações não geométricas, incorporando aos objetos características físicas e atributos como custo, energia envolvida na fabricação etc. Mudanças num parâmetro podem ser incorporadas ao modelo compartilhado, garantindo consistência interna de todos os seus componentes, assim como atualizações dinâmicas de informações entre equipes e compatibilização de projetos (arquitetônico, estrutural, de instalações etc.). Em tese, o BIM seria capaz de fornecer subsídios a qualquer decisão projetual, seja de caráter econômico, funcional ou formal, de balanço energético, de conforto ambiental etc., por um lado facilitando a circulação de informações e, por outro, potencializando a centralização de decisões. Poderíamos avaliar com precisão como chegar à forma mais extraordinária pelo menor custo. Talvez isso explique seu sucesso entre os escritórios de arquitetura produtores de bens simbólicos e megaempreendimentos.

No entanto, ainda parece haver obstáculos ao intercâmbio de informações via BIM nos escritórios de engenharia estrutural e arquitetura no Brasil, em particular nos de médio e pequeno porte, o que em parte se deve a deficiências dos *softwares* mais acessíveis, mas também a dificuldades de comunicação entre as equipes de diferentes áreas. Resta saber o quanto de responsabilidade nisso teria o ensino fragmentado de estrutura, projeto e construção praticado hoje na maioria das escolas de arquitetura. A comparação entre as possibilidades de representação gráfica de estruturas oferecidas pelo programa SAP 2000 e as representações tipicamente utilizadas nas aulas de estruturas para futuros arquitetos indica que a desarticulação começa no ensino.

Diante disso, o presente texto busca esboçar uma genealogia da representação gráfica das estruturas, parte de uma pesquisa ainda em andamento. Acreditamos que conhecer o modo como em que contextos essa representação se modificou ao longo do tempo pode ajudar a entender a situação atual e, portanto, a aprimorar o ensino de estruturas nas escolas de arquitetura. Tal reaproximação entre projeto arquitetônico e concepção estrutural, no entanto, não será completa sem o conhecimento prático de canteiro.

## 2. LINHA DO TEMPO

1000

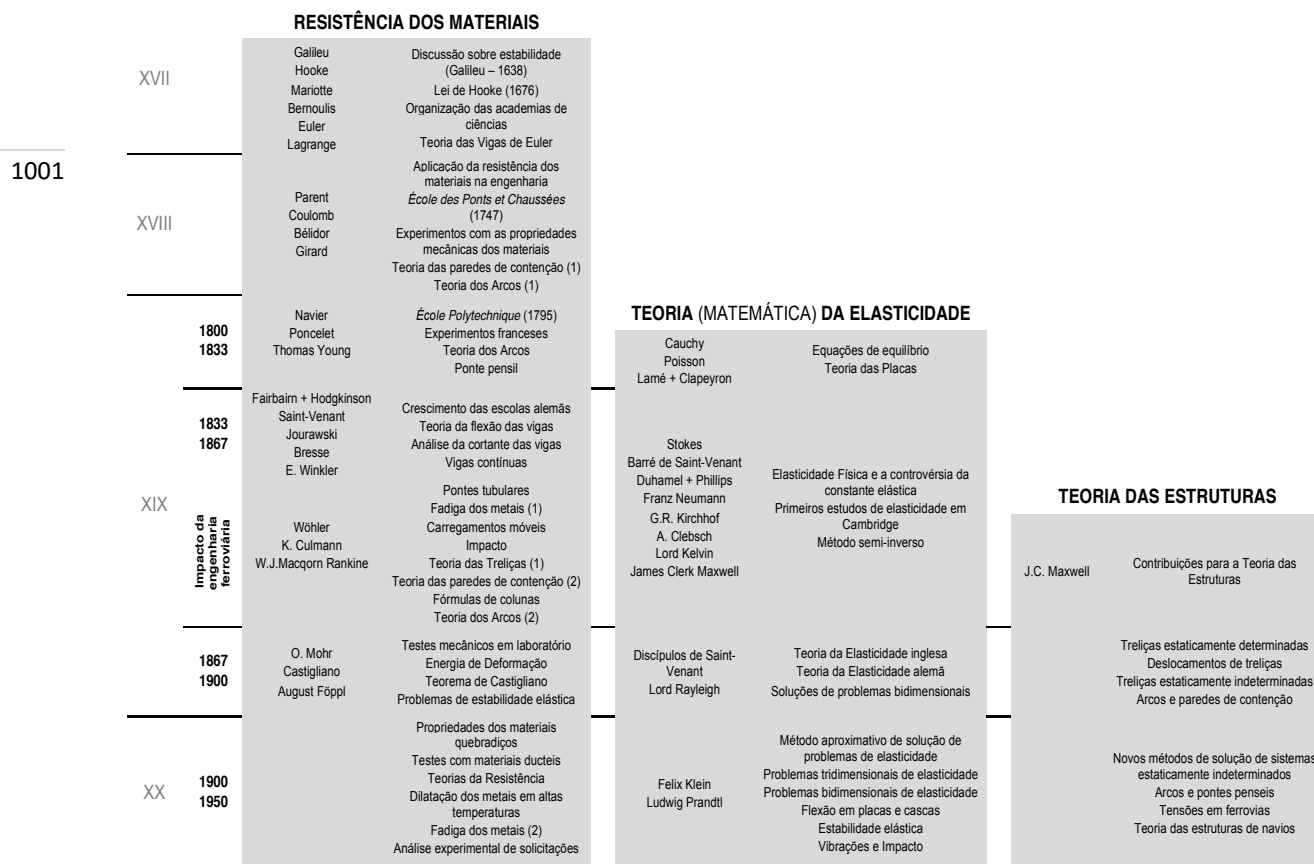
Como referência para a genealogia indicada, utilizamos uma história do conhecimento relacionado à engenharia de estruturas do engenheiro ucraniano-estadunidense, Stephen Prokofievich Timoshenko (1878-1972). Publicado em 1953 e intitulado *History of the Strength of Materials*, o livro sistematiza aquele conhecimento em três grandes áreas: a teoria da resistência dos materiais, inaugurada por Galileu no século XVII; a chamada teoria matemática da elasticidade, a partir do início do século XIX; e a teoria das estruturas, criada em meados do mesmo século. Junto com breves dados biográficos e as respectivas filiações intelectuais, Timoshenko explica as contribuições científicas dos principais pensadores nessas áreas, pontuando o desenvolvimento da engenharia e de seu ensino na Europa do século XVII até os anos 1950.

O trabalho de Timoshenko se destaca na historiografia da engenharia pelo levantamento minucioso das teorias e de suas aplicações. Por outro lado, ele se assemelha à maior parte dessa historiografia pelo caráter evolutivo, pela fé no desenvolvimento contínuo da ciência e pelo fato de acatar, sem nenhuma crítica, a ideia de um vínculo direto e sempre positivo entre teorias científicas, experimentos empíricos e produção social. Empreendimentos como as megaobras da engenharia ferroviária do século XIX ou a introdução do aço como material estrutural aparecem, nessa perspectiva, como conquistas sem reverses. Ciência e tecnologia ou, mais especificamente, matemática e engenharia, formam a pareceria heroica em prol do progresso da humanidade.

Timoshenko também está alinhado com muitos outros historiadores no que diz respeito à Idade Média. Ele faz referências à Antiguidade e considera válido o conhecimento a partir de Leonardo e Galilei, mas resolve o interstício – nada menos que mil anos – com uma única frase: "A maior parte do conhecimento que gregos e romanos acumularam a caminho da engenharia estrutural se perdeu na Idade Média e tem sido recuperado apenas a partir do Renascimento" (TIMOSHENKO, 1953, p.1). Ora, as sofisticadas construções góticas, sobretudo as catedrais disseminadas por França, Espanha, Alemanha e norte da Itália, foram construídas por homens com amplo conhecimento de técnicas construtivas e comportamento dos materiais. Embora se baseassem numa geometria operativa, graficamente rudimentar se comparada aos compêndios do século XVII, esses artífices foram capazes de criar formas de complexidade quase orgânica e cada vez mais audazes (BORK, 2011, p.2; BECHMANN, 1991, p.25). Decerto, suas operações eram transmitidas diretamente na prática dos canteiros, no que hoje se poderia chamar formação no trabalho, não em livros. Mas esse tipo de conhecimento deu origem a estruturas que não ficam nada a dever às da Antiguidade.

Se ainda assim elaboramos uma linha do tempo baseada em Timoshenko (Figura 1), que, por sua vez, orientou o referido esboço de uma genealogia, nossa leitura é bem menos positiva: linguagem matemática e representação gráfica, tais como codificadas pelos acadêmicos da construção (engenheiros e arquitetos), também foram expedientes de controle na crescente divisão, subordinação e alienação do trabalho. Esse processo coincide de fato com a cronologia de Timoshenko, ainda que tenha se iniciado antes.

Figura 1 – Cronologia das ciências das estruturas segundo Timoshenko (1953).

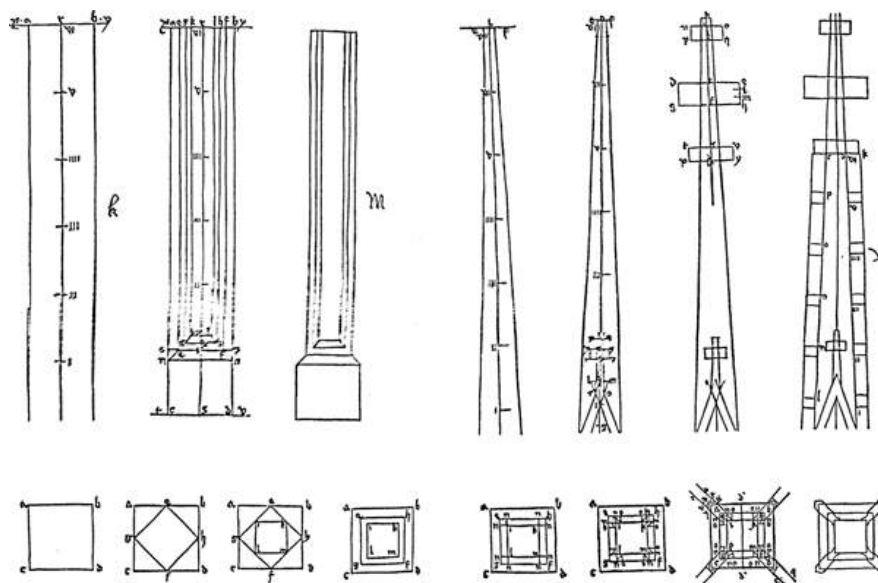


Fonte: Organizado pelos autores.

Para caracterizar a transição, começamos pelo *Livrinho da correção pinacular* (1486) do mestre construtor suíço Matthäus Roritzer. A Figura 2 reúne todos os desenhos que aparecem nesse livrinho – na realidade é uma pequena brochura –, distribuídos página a página. Trata-se de uma instrução para a boa construção de pináculos, que reproduz, não a imagem que o objeto terá, mas as marcações que devem ser feitas no canteiro e na pedra durante o processo construtivo. Para Roritzer, o desenho ainda não é uma representação; ele é uma ação. Sua função está longe do que se compreende hoje por projeto: não serve para prefigurar um resultado visual, nem como ordem de serviço. Entretanto, Roritzer é um representante tardio dessa tradição. Há evidências de que, já a partir de 1300, o desenho inicia sua migração e sua transformação, deixando de ser feito em escala real para a marcação *in loco* e se tornando desenho em escala reduzida elaborado num ambiente próprio, ainda junto ao canteiro, mas já apartado da construção propriamente dita (BORK, 2011, p.30).

A partir daí, tomamos por hipótese uma transformação em três fases, por princípio sucessivas, mas às vezes sincrônicas em diferentes lugares ou diferentes campos do conhecimento. A primeira é a transição da geometria operativa ao desenho de projeto; a segunda, a passagem dos desenhos dos tratados para o início da matematização das estruturas; e a terceira, a gradual abstração matemática na representação das estruturas.

Figura 2 – Esquemas do *Livrinho da correção pinacular* de Matthäus Roritzer.



Fonte: <<https://static.cambridge.org>>.

1002

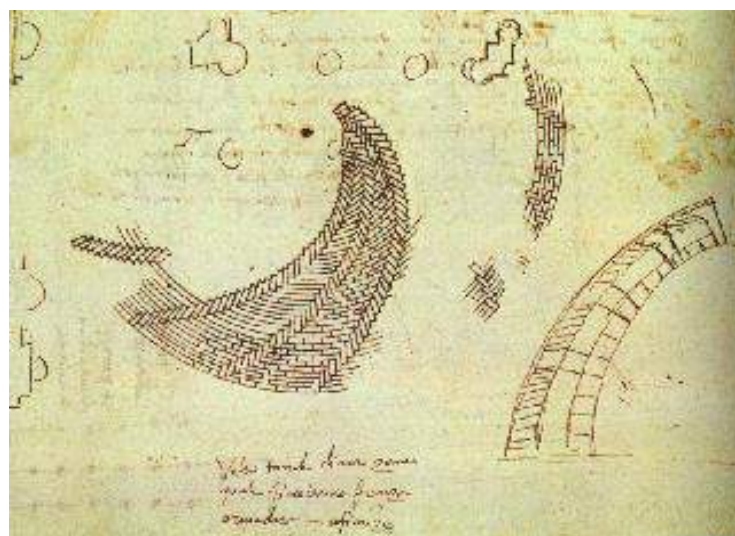
### 2.1. Entre a geometria operativa e o projeto

A primeira dessas fases é aqui exemplificada por um desenho de Filippo Brunelleschi (1377-1446) para a alvenaria da cúpula do *Duomo* de Florença (Figura 3) e por um desenho de Leonardo da Vinci (1452-1519) para uma ponte desmontável de vigas recíprocas (Figura 5).

A construção da cúpula da igreja de Santa Maria dei Fiori, o *Duomo*, dá-se justamente no período crítico em que um modo de construir artesanal enfrenta a pressão para transformar os canteiros em organizações manufatureiras. São conhecidos os embates de Brunelleschi com as guildas de construtores que, ao fim e ao cabo, resultam em subordinação da mão-de-obra ao comando do arquiteto. Essa centralização irá, ao longo do tempo, cristalizar-se no projeto, isto é, no desenho antecipado do resultado e em ordem de serviço. A representação gráfica do projeto, que nesse momento ainda não veicula separadamente informações técnicas acerca de espaço, estrutura e construção, irá se formalizar num código cada vez mais opaco aos trabalhadores: o desenho arquitetônico.

Mas os *croquis* de Brunelleschi ainda não é um desenho dessa espécie. Não há formalização da representação técnica, nem rigor dimensional. Mais do que antecipar um produto, ele parece antecipar um processo com o qual tem familiaridade. O desenho indica domínio do material, principalmente o modo como se dá o desempenho estrutural da alvenaria de tijolos. Nessa configuração em formato de espinha de peixe os tijolos iam em ziguezague da base ao topo da cúpula em fileiras diagonais. As camadas horizontais eram cortadas a cada 90 centímetros por uma fiada de tijolos na vertical. Trata-se de uma técnica etrusca que Brunelleschi teria redescoberto nas ruínas romanas (KING, p. 130-132), e ele mandou fabricar os tijolos da cúpula especialmente para conseguir essa lógica de construção. O método foi reconstituído pelo arquiteto e pesquisador italiano Massimo Ricci (Figura 4).

Figura 3 – Desenho de Brunelleschi para a cúpula da Igreja de Santa Maria dei Fiori.



Fonte: <<http://www.lmc.ep.usp.br>>.

Figura 4 – Reconstituição da construção da cúpula do Duomo por Massimo Ricci.

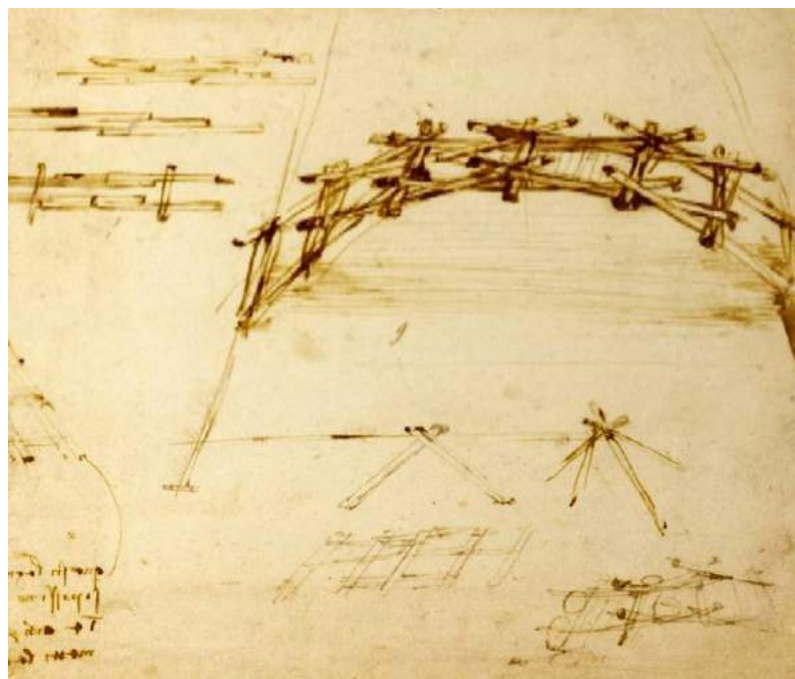


Fonte: <<http://www.filippodiserbrunellesco.org>>.

A ponte desmontável de Leonardo da Vinci, ao que tudo indica, teve uma motivação bélica e teria sido parte de uma encomenda do duque de Milão, Ludovico, o Mouro. Pensada como um conjunto de vigas recíprocas, compostas por pequenos troncos, ela seria capaz de suportar o peso de vários homens e fácil de transportar, permitindo movimentos rápidos e inesperados de tropas. O desenho de Leonardo revela o que se pode chamar de “intimidade” com o comportamento do material. O desenho parece uma espécie de ampliação de raciocínio a partir de uma geometria operativa. Assim como Brunelleschi, ele representa o material como tal (tronco, tijolo), ensaiando no papel as ações a executar na realidade. Os desenhos menores no canto superior esquerdo da Figura 5 mostram o encaixe dos troncos no chão antes de serem erguidos. Para que funcionem como vigas recíprocas, é preciso suspendê-las simultaneamente e como que “trançar” os troncos transversais por entre os longitudinais. Especulamos que Leonardo deve ter imaginado essa operação ao desenhar o objeto, isto é, que o desenho é mais do que uma espécie de fotografia antecipada do resultado final.



Figura 5 – Desenho de Leonardo da Vinci para ponte desmontável.



Fonte: <<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com>>.

1004

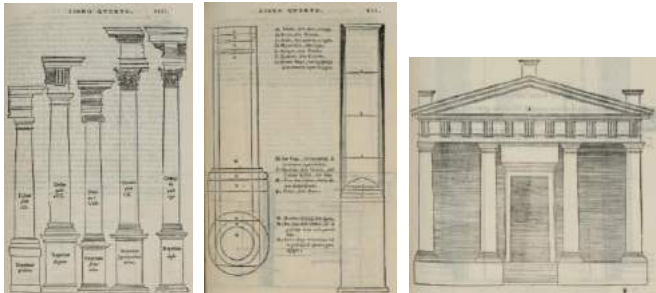
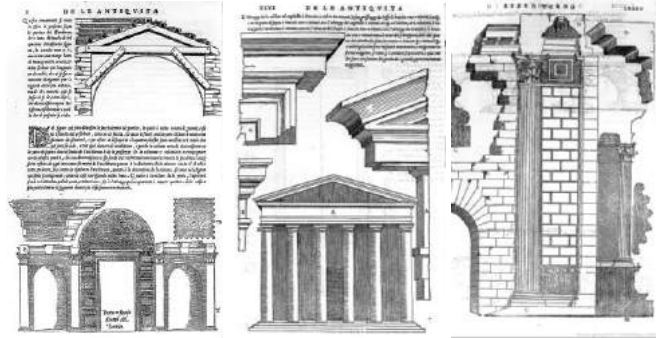
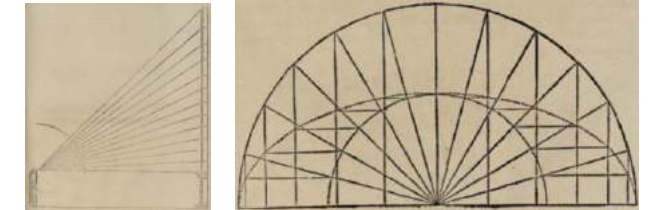
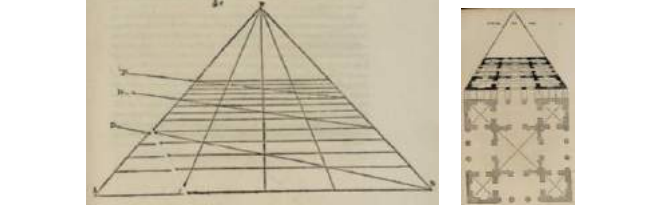
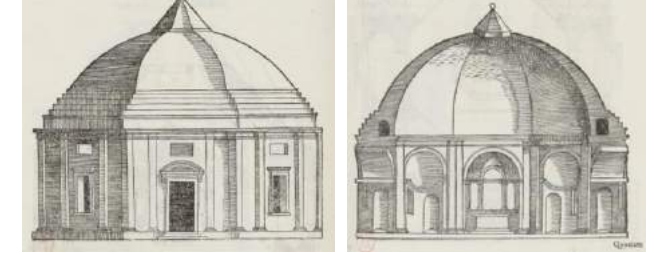
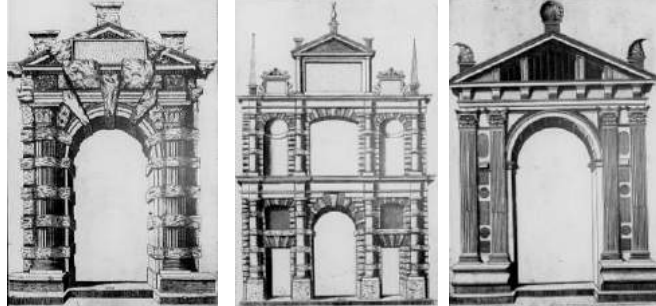
## 2.2. Imagens de estabilidade

Na segunda fase de nossa cronologia, que se estende até fins do século XVII e é exemplificada pelos desenhos de tratados de arquitetura a partir de meados do século XVI, a representação gráfica deixa de se referir a ações diretas sobre os materiais ou a processos construtivos, para se concentrar nos produtos que a imaginação antecipa e que, à avaliação dos olhos, parecem um resultado estável.

À diferença de Leon Battista Alberti (1404-1472), cujo *De Re Aedificatoria* (1452) inaugura a moderna teoria da arquitetura sem conter nenhuma imagem, Sebastiano Serlio (1475-1554) é o primeiro tratadista não apenas a usar imagens em livros, mas a fazer delas o seu principal atrativo. Seus *Sette libri dell'architettura* são escritos em italiano em vez de latim e voltados menos ao mundo erudito de Alberti e mais às necessidades práticas da construção (Quadro 2). Tiveram expressivo sucesso e logo foram traduzidos para francês e alemão. Também é curioso que os livros não foram publicados na ordem lógica que Serlio lhes atribuiu. O primeiro deles é o *Livro IV* (1537), que trata das ordens, fornecendo um repertório formal; em seguida, o *Livro III*, uma espécie de catálogo de exemplos antigos. Somente depois de Serlio estar estabelecido na corte de François I, em Fontainebleau, publica o *Livro I*, sobre a geometria e a matemática necessárias ao desenho coerente de edifícios em planta, corte, fachada e perspectiva. Nenhum dos volumes traz instruções sobre a construção propriamente dita. A estratégia editorial indica que Serlio parte do pressuposto de que os construtores não necessitam de instrução acerca do uso de materiais e dos procedimentos técnicos, dando prioridade à imagem dos edifícios como produtos prontos e acabados. Nesse aspecto, chama

Quadro 2 – Datas, temas e ilustrações dos livros que Serlio publicou em vida.

1005

1537	Livro IV	Ordens Clássicas antigas	
1540	Livro III	Edifícios romanos antigos e seus detalhes	
1545	Livro I	Geometria e fundamentos de matemática	
1545	Livro II	Perspectiva e cenografia	
1547	Livro V	Templos	
1551	Livro extraordinário	Somente imagens (principalmente portais)	

Fonte: Organizado pelos autores com imagens das edições referidas.

a atenção o *Livro Extraordinário* (1551) que traz somente figuras. Destaca-se, entre as 51 ilustrações de fachadas de pórticos, o número excessivo de arcos plenos. Ainda que convincente em sua aparência de estabilidade, trata-se de uma forma estruturalmente instável em quase todos os casos. As pedras que conformariam o arco pleno não passam de uma espécie de confeito de argamassa.

### 2.3. A matemática substitui a geometria

A terceira fase da cronologia é inaugurada pelas ilustrações dos *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), de Galileu Galilei, e entra no campo da construção apenas lentamente até se aprimorar no século XIX. Nesse caso, os desenhos usados na concepção das estruturas deixam de representar uma ação sobre a matéria ou mesmo uma imagem do produto material, para se tornarem instrumentos auxiliares do cálculo.

Os *Discorsi* foram escritos na forma de diálogos em que três personagens – Simplicio, Sagredo e Salviati – debatem uma sequência de temas ao longo de quatro dias. No primeiro, discutem a física de Aristóteles e a escola aristotélica de mecânica; no segundo, a resistência dos materiais; e no terceiro e quarto dias, a ciência do movimento.

A frase atribuída a Galileu – “a matemática é o alfabeto que Deus usou para escrever o universo” – leva a pensar sobre as razões de, nos *Discorsi*, haver ilustrações realísticas, tais como uma viga em balanço com cargas figuradas por pedras e coisas semelhantes (Quadro 3). Talvez tenha sido apenas uma concessão de Galileu aos leitores ou uma exigência do editor.

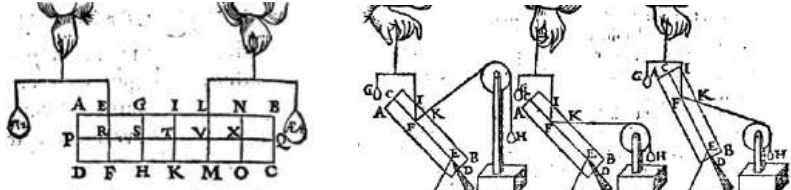
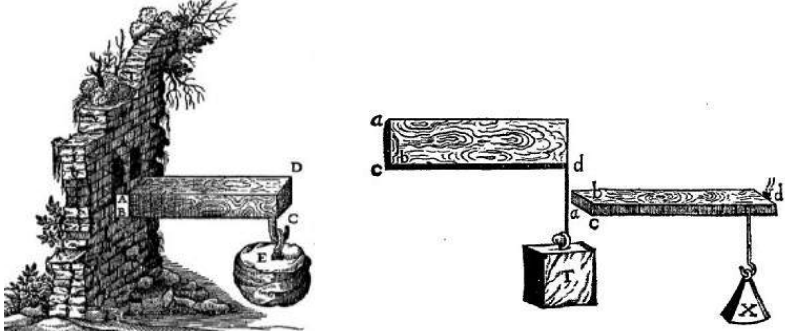
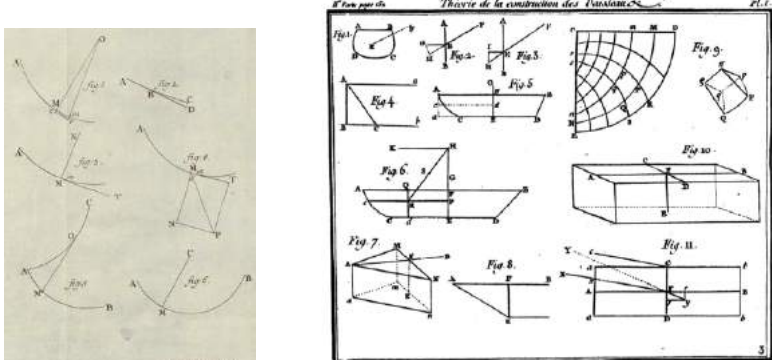
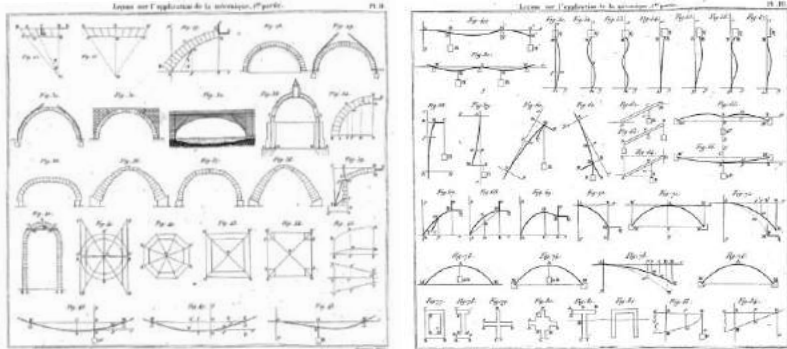
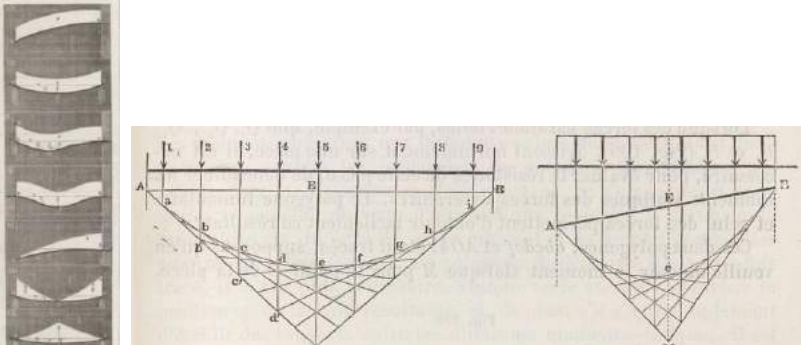
Outras imagens interessantes estão no *Mathematicorum Hypomnematum de Statica* (1605) do matemático Simon Stevin (1548-1620). Stevin nasceu em Bruges, na atual Bélgica, e se dedicou, além do estudo de matemática, também à física e à engenharia hidráulica. Observa-se que, nas ilustrações de sua *Statica*, a representação do funcionamento das leis físicas ainda se faz com recursos figurativos (Quadro 3).

Já na *Mechanica* do matemático e engenheiro suíço Euler (1707-1783), a abstração da representação é praticamente completa. Tudo é reduzido a linhas, mesmo quando se trata de objetos concretos como as embarcações (Quadro 3). Parecem interessar somente as propriedades dos materiais passíveis de expressão em linguagem matemática. Entre os diversos estudos de Euler, estão a operação com módulos e a teoria dos grafos. Esta última trata das relações entre objetos de um determinado conjunto a partir de estruturas chamadas grafos, fundamento da matemática discreta, hoje muito utilizada em ciência da computação.

Gradativamente a representação gráfica de caráter abstrato vai penetrando no mundo engenharia e da construção. Claude-Louis Navier (1785-1836) foi engenheiro politécnico típico, tendo se dedicado ao serviço público francês como construtor do *Corps de Ponts et Chaussées*. A partir de 1831, ele se torna professor da *École Polytechnique*, antes disso, entre 1819 e 1835, leciona mecânica aplicada na *École Nationale des Ponts et Chaussées*. As ilustrações do seu *Resumé des Leçons Données a l'École de Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique a l'Établissement des Constructions et des Machines*, embora indiquem um certo grau de abstração e já possam ser consideradas como um código distinto, que representa

Quadro 4 – Cronologia de representações do século XVII ao XIX.

1007

<p>1605</p>	<p>Stevin <i>Mathematicorum Hypomnematum de Statica</i></p>	
<p>1638</p>	<p>Galileu <i>Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze</i></p>	
<p>1736  1776</p>	<p>Euler <i>Mechanica sive motus scientia analytice exposita</i>  <i>Théorie Complete de la Construction et de la Manoeuvre des Vaisseaux [...]</i></p>	
<p>1864</p>	<p>Navier <i>Resumé des Leçons Données a l'École de Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique a l'Établissement des Constructions et des Machines</i></p>	
<p>1881</p>	<p>Reuleaux <i>Le constructeur, tables, formules, règles, tracés et renseignements pour la construction des organes de machines [...]</i></p>	

Fonte: Organizado pelos autores com imagens das edições referidas.

exclusivamente o produto almejado pelo projeto (Quadro 3). Os materiais propriamente ditos estão apenas esboçados e é impossível deduzir os processos construtivos a partir dos desenhos. A militância profissional de Navier coincide com o período pós-revolucionário francês em que houve transformações importantes na produção do espaço e na organização profissional. A mentalidade dos engenheiros politécnicos os coloca numa posição de comando da produção do espaço. A construção de infraestrutura viária pelo Estado francês se dá a partir da sistematização promovida pelas escolas de engenharia. Essa sistematização se faz a partir das práticas de construção, porém no sentido da subordinação do trabalho, isto é, contra os oficiais e operários da construção.

Outro exemplo de representação proveniente da engenharia politécnica é a do engenheiro alemão Franz Reuleaux (1829-1905). Ele pertence a uma família de construtores mecânicos (Englerth, Reuleaux e Dobbs), inicia sua aprendizagem na fundição Zilken e, em seguida, na fábrica da família. Entre 1850 e 1852, ele frequenta o instituto politécnico de Karlsruhe. Mais tarde, a partir de 1856, assume uma cadeira de mecânica aplicada na politécnica de Zurique e, em 1879, passa para o departamento de construção mecânica do Instituto técnico de Charlottenbourg, onde se dedica aos estudos de cinemática. O caso de Reuleaux, por um lado, exemplifica a disseminação da mentalidade politécnica pela Europa do século XIX. Por outro lado, ilustra também a estratégia das escolas em atrair para seus laboratórios e quadros docentes jovens profissionais com experiência prática em oficinas. A representação gráfica utilizada por Reuleaux já é muito próxima da atualmente utilizada nas disciplinas de estruturas das escolas de arquitetura.

Um passo a mais nesta cronologia seria compreender o modo como a mentalidade politécnica se difunde além da França, sempre com foco no modo como a representação é utilizada e instrumentalizada. Um objeto interessante a ser analisado seria a descrição ilustrada que Vauthier (1853) faz das construções populares no Recife.

### **3. CONSIDERAÇÕES**

O trabalho aqui apresentado é, como o próprio título indica, um esboço, que deve ser ampliado, complementado, discutido. Mas ele evidencia pelo menos duas coisas. Uma é o fato de que o desenho de estruturas não coincide necessariamente com o desenho de construção; o que significa também que se pode conhecer profundamente as relações físico-matemáticas e representá-las com precisão, sem que isso resulte num desenho para a execução. Outra é que a progressiva hierarquização no mundo do trabalho é correlata à progressiva sofisticação de instrumentos abstratos e parciais. Isso significaria também que o emprego de modelagem paramétrica, BIM e outros recursos tende a promover no âmbito do trabalho de projeto uma hierarquização semelhante àquela que, entre os séculos XV e XIX, acometeu o trabalho de construção. Apenas não levará quatrocentos anos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro e pelas bolsas que possibilitaram as pesquisas de que resultou o presente trabalho.

A Marina Ferreira Borges pelos comentários e pelas imagens da Figura 1.

## REFERÊNCIAS

BECHMANN, R. **Villard de Honnecourt**: la pensée technique au XIII<sup>e</sup> siècle et sa communication. Paris: Picard, 1991.

BORK, R. O. **The geometry of creation**: architectural geometry and the dynamics of gothic design. Surrey, Burlington: Ashgate, 2011.

BUCHETTI, J. **Manuel des constructions métalliques** : charpentes et ponts : résistance des matériaux, graphostatique, appliquées aux systèmes triangulaires, fermes et poutres, arcs articulés, continus, encastrés, dôme sphérique ; règlement de 1891 sur les ponts, données de construction, etc. Paris: C. Bérenger, 1898. Disponível em: <<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb30172274k>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

EULER, L. **Mechanica sive motus scientia analytice exposita**. Petropoli [São Petersburgo]: Typographia Academiae Scientiarum, 1736.

EULER, L. **Théorie Complete de la Construction et de la Manoeuvre des Vaisseaux, mise a a la porté de ceux qui qui s'appliquent a la navigation**. 1776. Disponível em: <<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb30410014z> ; <http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

GALILEI, G. **Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze**. 1638. Disponível em: <<http://www.e-rara.ch/zut/titlepage/doi/10.3931/e-rara-3923/128>; <http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

HARRISON, B. **Structural analysis and design**: some microcomputer applications. Oxford, New York, Beijing, Frankfurt, São Paulo, Sidney, Tokyo, Toronto: Pergamom Press, 1990.

HOOKE, R. **De Potentia Restitutiva ou Of Spring**. 1776. Disponível em: <<https://media1.britannica.com/eb-media/36/102336-004-43A8D4FA.jpg>>; <[https://www.researchgate.net/publication/220506128\\_Physically\\_Based\\_Deformable\\_Models\\_in\\_Computer\\_Graphics/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/220506128_Physically_Based_Deformable_Models_in_Computer_Graphics/figures?lo=1)>. Acesso em: 23 jun. 2017.

KING, R. **O Domo de Brunelleschi**: como um gênio da Renascença reinventou a arquitetura. Rio de Janeiro, São Paulo: Record, 2013.

NAVIER, C. **Resumé des Leçons Données a l'École de Ponts et Chaussées sur l'application de la Méchanique a l'Établissement des Constructions et des Machines**. 1864. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

POISSON, S. **Traité de Méchanique**. 1811. Disponível em: <[http://patrimoine.enpc.fr/document/ENPC02\\_COU\\_8\\_2288\\_1864\\_2](http://patrimoine.enpc.fr/document/ENPC02_COU_8_2288_1864_2) ; <http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

REULEUX, F. **Le constructeur, tables, formules, règles, tracés et renseignements pour la construction des organes de machines...** Paris: F.Savy, 1881. Disponível em: <<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb31201191h>; <http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

RORITZER, M. **Das Büchlein von der Fialen Gerechtigkeit**. Basel: Edição do autor, 1486.

SERLIO, S. **Sebastiani Serlii Bononiensis de Architettura Libri Quinque di Architettura** [...]. Veneza, [s.n.], 1569.

SERLIO, S. **Extraordinario Libro di Architettura di Sebastiano Serlio** [...]. Lione (Lyon): Giovan di Tournes, 1551.

SERLIO, S. **Regole Generali di Architettura di Sebastiano Serlio Bolognese sopra le cinque maniere de gli edifici** [...] Venetia (Veneza), [?], 1553.

SERLIO, S. **Primo Libro di Architettura di Sebastiano Serlio** [...]. Venetia (Veneza): Battista e Marchio sessa fratelli, 1557.

SERLIO, S. **Extraordinario Libro di Architettura di Sebastiano Serlio** [...]. Venetia (Veneza): Giovanbastista & Marchio Sessa, 1558.

SERLIO, S. **Terzio Libro di Architettura di Sebastiano Serlio** [...]. Veneza, [s.n.], 1560.

SERLIO, S. **Sebastiani Serlii Bononiensis de Architettura Libri Quinque di Architettura** [...]. Veneza, [s.n.], 1569.

STEVIN, S. **Mathematicorum Hypomnematum de Statica**. 1605-8. Disponível em:  
< <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb31407045v>>; <<http://gallica.bnf.fr/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

TIMOSHENKO, S. P. **History of the Strength of Materials with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures**. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company, 1953.

VAUTHIER, L. Des maisons d'habitation au Brésil. **Revue général d'Architecture**, 1853.