

WAGNER DE SOUZA REZENDE

**MEDIDA POR MEDIDA**  
DA REPRESENTAÇÃO À SIMULAÇÃO,  
DO ANALÓGICO AO DIGITAL

Belo Horizonte  
ESCOLA DE ARQUITETURA  
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**MEDIDA POR MEDIDA**  
DA REPRESENTAÇÃO À SIMULAÇÃO,  
DO ANALÓGICO AO DIGITAL

WAGNER DE SOUZA REZENDE

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção de grau de Mestre em Arquitetura.  
Núcleo de pós-graduação em Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade Federal de Minas  
Gerais.

Área de concentração: Análise Crítica e Histórica  
da Arquitetura e do Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Barci Castriota

Belo Horizonte

2006



A Deus,  
A meus pais,  
A Simone e ao Lucas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Leonardo Barci Castriota,

Ao Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,

A Carolina Pereira Soares,

A Letícia Mourão Cerqueira,

A Amair Saturnino de Assis,

A Ana Aparecida Barbosa,

A Joani Miguel Lopes Cançado,

A Prof. Dra. Celina Borges Lemos,

Ao Prof. Dr. Carlos Antônio Leite Brandão.

Os matemáticos medem com suas inteligências apenas as formas das coisas, separando-as de qualquer matéria. Nós, porque queremos que as coisas sejam postas bem diante dos olhos, por isso mesmo, ao redigir, nos serviremos, como se diz, de uma Minerva mais gorda e apreciaremos bastante se, de algum modo, nesta matéria sem dúvida difícil e – pelo que sei – por nenhuma outra pessoa até agora tratada, os leitores me entendam. Rogo, pois, que interpretem nossas palavras como ditas unicamente por um pintor.

Leon Battista Alberti

## RESUMO

As exigências por levantamentos minuciosos e confiáveis dos ambientes construídos pela humanidade têm alcançado, na atualidade, um interesse inédito na História da Arquitetura e do Urbanismo. Ilustram essa constatação os diversos projetos contemporâneos dedicados à aquisição, ao processamento, interpretação e reconstrução tridimensional de modelos de edificações, de artefatos arqueológicos e de cidades. O objetivo principal desta dissertação é empreender uma análise crítica das transformações culturais que apontam para a utilização de tecnologias digitais nos processos de documentação e nos estudos das cidades contemporâneas e se constitui na busca de elementos para responder a algumas questões fundamentais para esclarecer as conexões entre Fotogrametria, Ciências da Computação e Arquitetura. Para isso, parte da análise do texto *Descriptio Urbis Romae*, de Leon Battista Alberti, procurando em seguida demonstrar como a geometria projetiva, a estereoscopia e a fotografia, inventadas e aprimoradas no século XIX, tornam-se partes de uma nova disciplina, denominada Fotogrametria. As novas possibilidades que a fotogrametria arquitetônica tem oferecido na preservação do patrimônio histórico, na investigação arquitetônica e no planejamento das cidades são apresentadas com o intuito de proceder a um exame crítico das ferramentas para a documentação e o estudo das cidades. Finalmente, esta dissertação se concentra nas limitações, interferências e interações possíveis entre fotogrametria digital, visão computacional e Arquitetura. Ao revelar as divergências e convergências entre as tecnologias analógicas e digitais, seja na representação ou na construção de modelos tridimensionais, procuram-se estabelecer algumas questões pertinentes sobre o conhecimento por simulação, principalmente a partir do diálogo com o texto de Pierre Lévy. O objetivo desta análise é, em última instância, apontar novos caminhos para a simulação computadorizada em Arquitetura e Urbanismo utilizando metodologias eficientes e acessíveis.

Palavras-chave: Arquitetura e Urbanismo, Fotogrametria Arquitetônica, Simulação, Tecnologia da Informação.

## ABSTRACT

The demands for accuracy and reliable in surveying the geometric forms of the built environment have reached in present days an interest never seen before in the History of Architecture and Urban Planning. This could be verified through a crescent amount of contemporary projects that are dedicated to the acquisition, processing, interpretation and 3D reconstruction of building models, archeological artifacts and cities. The foremost aim of this dissertation is thus a critical analysis of the cultural transformations involved in the application of digital technologies in the documentation processes and in the investigation of the contemporary cities. Another aim is to find elements to answer some fundamental questions in order to clarify the connections among photogrammetry, graphic computing and Architecture. The first part is dedicated to the initial movement in that sense, in the analysis of the text *Descriptio Urbis Romae*, from Leon Battista Alberti, a referential writing that represents the first indication on the habit of measuring the world. The next part of this work is an attempt to demonstrate how projective geometry, stereoscopy and photography, both invented and improved in the nineteenth century, become part of a new discipline, named photogrammetry. The new possibilities that architectural photogrammetry have put forward on the preservation of historical heritage, on architectural surveying and on town planning are then presented with the intention of proceeding a critical approach of the tools for documenting and investigating of the cities. Finally, this dissertation focuses the drawbacks, interferences and possible interactions among digital photogrammetry, computer vision and Architecture. Revealing the divergences and convergences between analogical and digital technologies, whether in the representation or in the construction of 3D models, the autor is trying to lay down some appropriate questions on the knowledge by simulation, mainly starting from dialogue with the text of Pierre Lévy. The aim of this work is, at last instance, appointing new visions on the computadorized simulation in Architecture and Urbanism, exploiting efficient and feasible methodologies.

Key Words: Architecture and Urbanism, Architectural Photogrammetry, Simulation, Information Technology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Métodos para aquisição tridimensional de objetos.....	15
Figura 2: Estátua de Gudea, governador sumério de Lagash, em torno de 2575 a.C.....	21
Figura 3: O metro-padrão instalado na <i>rue de Vaugirad</i> , em Paris.....	23
Figura 4: O homem de Vitruvius, segundo desenho de Leonardo Da Vinci.....	27
Figura 5: Compasso Geométrico de Galileu.....	29
Figura 6: Peça suméria em argila, descrevendo a medição de uma propriedade rural....	34
Figura 7: Esquema gráfico demonstrando a construção de um relógio de sol.....	35
Figura 8: Representação de um homem realizando medições usando o <i>groma</i> .....	36
Figura 9: Diagrama descrevendo a utilização do <i>groma</i> .....	37
Figura 10: Medindo a altura de uma torre quando se é possível chegar até sua base....	44
Figura 11: Medindo a altura de uma torre sem conhecer nenhuma das suas medidas....	46
Figura 12: ... pegue-se uma gamela cheia d'água; vai se afastando sempre.....	47
Figura 13: Esquema gráfico do Equilibra, de Alberti.....	49
Figura 14: O <i>horizonte</i> , instrumento utilizado por Alberti durante o levantamento dos principais monumentos de Roma.....	50
Figura 15: Comparação dos pontos indicados na <i>Descriptio Urbis Romae</i> , sobrepostos aos pontos indicados por Vagnetti a partir de dados atualizados de Roma.....	52
Figura 16: Prancha 01 da <i>Géométrie Descriptive</i> , de Gaspard Monge.....	55
Figura 17: Câmara obscura, conforme representação da <i>Encyclopaedia</i> de Diderot.....	62
Figura 18: A primeira fotografia de Niépce, tirada do quintal da sua casa em 1826.....	64
Figura 19: Projetos: Diorama e <i>Wauxhall</i> , Paris.....	65
Figura 20: William Henry Fox Talbot, Pantheon, 1843.....	66
Figura 21: Daguerreótipo do Capitólio, 1846.....	67
Figura 22: Estereoscópio projetado por Wheatstone.....	69
Figura 23: Três exemplos de pares estereoscópicos.....	70
Figura 24: Arco de Tito: reprodução de um par estereoscópico.....	75
Figura 25: Primeira câmara fotográfica métrica construída por Meydenbauer, 1897.....	83
Figura 26: Reconstrução gráfica de elevações e plantas a partir de uma fotografia.....	86
Figura 27: Reprodução do Processo de Documentação de Jarl Nordbladh.....	87

Figura 28: Exemplo de fotografia de um edifício, com inclinação da câmara de 30°, antes e após o processo de orto-retificação.....	95
Figura 29: Esquema representando os pontos nodais (objetiva da câmara), de onde partem as linhas da perspectiva, o eixo ótico, o negativo e a posição fictícia de um positivo da imagem.....	98
Figura 30: Interior da caverna de Lascaux.....	106
Figura 31: Interior da réplica da caverna de Altamira.....	108
Figura 32: Esper Machine, a máquina usada por Deckard no filme <i>Blade Runner</i> para investigação de crimes.....	111
Figura 33: Fluxograma proposto por Debevec para explicitar as diferenças entre sua abordagem e outros dois sistemas de modelização tridimensional.....	125
Figura 34: Par de fotografias apresentando a técnica de modelização de Faugeras, onde linhas paralelas, comuns às duas imagens, revelam correspondências visuais.....	130
Figura 35: Padrão utilizado para verificação do desvio radial de câmaras digitais.....	130
Figura 36: Grade de calibração e o modelo computadorizado para ajuste dos parâmetros intrínsecos das câmaras, concebidos por Olivier Faugeras.....	131
Figura 38: Ilustração do processo de modelização concebido por Paul Debevec .....	132
Figura 37: Interface do sistema de modelização <i>Facade</i> .....	133

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	NÚMERO, GEOMETRIA E O VÍCIO DE MEDIR	
2.1	As Origens das Medidas.....	19
2.2	Simetria e Ordem.....	24
2.3	Fibonacci e a Nova Matemática.....	29
2.4	As Técnicas de Medir.....	33
2.5	Leon Battista Alberti.....	40
2.6	<i>Ludi Mathematici</i> .....	41
2.7	<i>Descriptio Urbis Romae</i> .....	47
2.8	Gaspard Monge: A Descoberta da Geometria Descritiva.....	52
3	DA CÂMARA OBSCURA À FOTOGRAMETRIA	
3.1	A Câmara Obscura.....	59
3.2	Sobre a Fotografia.....	62
3.3	A Estereoscopia.....	68
3.3.1	A Ótica e a Visão Binocular Estéreo no Século XIX.....	68
3.3.2	A Estereoscopia no Brasil.....	72
3.3.3	Estereoscopia e Fotogrametria.....	73
3.4	Arquitetura e Fotogrametria.....	77
3.4.1	Definições.....	77
3.4.2	Antecedentes Históricos.....	78
3.4.3	A Fotogrametria Arquitetônica.....	81
3.4.4	O Processo de Documentação Fotogramétrica.....	93
3.4.5	A Simulação a Partir de Tecnologias de Investigação Não-Óticas.....	101
4	DA REPRESENTAÇÃO À SIMULAÇÃO, DO ANALÓGICO AO DIGITAL	
4.1	Do Analógico ao Digital.....	104
4.2	Imagem Cálculo: o <i>Pixel</i> .....	110

4.3	O Conhecimento por Simulação.....	115
4.4	Fotogrametria Digital e Visão Computacional.....	119
4.5	Da Perspectiva aos Modelos Tridimensionais Simulados.....	120
4.5.1	A Modelização a Partir de Fotografias.....	121
4.5.2	O processo de Calibração de Câmaras Digitais.....	125
4.5.3	O Uso de Câmaras Não-Calibradas.....	129
4.5.4	Modelização Fotogramétrica.....	131
4.6	O Real e o Virtual.....	135
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

## 1 INTRODUÇÃO

Durante séculos, desenhar, projetar, representar e criar modelos de cidades e das suas edificações têm sido ações desempenhadas principalmente pelo arquiteto. De fato, nesta dissertação é possível vislumbrar que, desde o *Descriptio Urbis Romae* de Leon Battista Alberti, elaborado em meados do século XV, até os projetos realizados nas últimas décadas dentro dos centros de pesquisas mais avançados do mundo, como por exemplo em Stanford, Berkeley e na *Technische Universität Wien*<sup>1</sup>, os arquitetos têm se colocado diante de questões interdisciplinares envolvendo Arquitetura, Matemática, Física, Ciências da Computação, Geografia e Cartografia.

No Renascimento, alguns arquitetos e artistas documentavam as edificações, ruas, praças e as ruínas das cidades antigas especialmente com o objetivo de se instruírem a respeito das tipologias arquitetônicas e da morfologia urbana, mas também estudavam e mediam as antigas muralhas para se dedicarem à Arquitetura militar, ou seja, ao projeto e à construção de fortificações, como pode ser observado na obra de Alberto Pérez-Gómez<sup>2</sup>. A primeira Revolução Industrial trouxe considerável impulso à problemática das medições espaciais, principalmente no continente europeu. O impacto por ela provocado exigiu uma total reestruturação das cidades a partir do século XIX e, conseqüentemente, a necessidade de informações territoriais cada vez mais precisas e atualizadas para o planejamento urbanístico. Além disso, eram investidos cada vez mais recursos no levantamento minucioso dos monumentos históricos e culturais das cidades. Na atualidade, as exigências por levantamentos precisos e confiáveis das formas geométricas do ambiente construído pelo homem têm tido uma abrangência maior,

---

<sup>1</sup> Na Universidade Técnica de Viena, por exemplo, dentro do *Innovative Project 3D Technology*, participam cinco grupos de pesquisa ligados a disciplinas distintas. Entre os tópicos pesquisados temos: *3D reconstruction and reverse engineering, Registration and industrial inspection, Geometric processing of 3D laser scanner data, Calibration of 3D laser scanner data, Real-time rendering, Augmented reality, Virtual reconstruction in archeology, Architectural design, Restoration of historic buildings*. Disponível em: <<http://www.geometrie.tuwien.ac.at/3dtechnik/>>. Acessado em 12 set. 2006.

<sup>2</sup> PÉREZ-GÓMEZ, Alberto. **Architecture and the crisis of Modern Science**. Massachusetts: MIT Press, 1988.

como podemos ver através dos projetos dedicados à aquisição, ao processamento, à interpretação e à reconstrução tridimensional de modelos de edificações, artefatos arqueológicos e cidades. As simulações de catástrofes naturais, como terremotos, maremotos e tufões, o sensoriamento remoto em tempo real do tráfego de veículos e de pessoas nos principais centros urbanos, a realidade virtual dedicada ao turismo e à preservação de bens históricos, dentre outras possibilidades viabilizadas pelos modelos computacionais, tornaram-se acessíveis à maioria das instituições ligadas ao estudo da cidade.

O desenvolvimento tecnológico sem precedentes, acompanhado por uma crescente especialização do conhecimento, tem sido acentuado desde meados do século XVIII. A organização epistemológica em disciplinas com métodos e conceitos próprios resultou na acumulação de uma massa gigantesca de conhecimentos compartimentados, geralmente estranhos entre si. Nesse sentido, podemos entender porque a maioria dos arquitetos desconhece o que seja fotogrametria, apesar de ser uma disciplina que tem suas origens na documentação e no estudo de edificações de valor histórico. Desenvolvida desde 1850, acompanhando as inovações da fotografia e dos instrumentos tecnológicos de medição de distâncias, a fotogrametria arquitetônica é uma disciplina freqüentemente associada à Cartografia nos dias atuais. Isso nos faz questionar o porquê do distanciamento entre os arquitetos e as tecnologias de medição e documentação da Arquitetura, em especial no Brasil, no século XX. Afinal, ao assumir o papel de coordenador de projetos, envolvendo diversos técnicos especialistas, o arquiteto se vê diante de trabalhos nos quais o processo é tão importante quanto o produto final. Em outras palavras, as informações adquiridas nos levantamentos geométricos das edificações e áreas urbanas não desobrigam o arquiteto do conhecimento das tecnologias empregadas, como parece ocorrer sobretudo no caso da tecnologia digital. Neste caso os arquitetos assumem, na maioria das vezes, o papel de operadores de programas computacionais e instrumentos técnicos sofisticados, tornando-se cada vez menos atentos ao *modus operandi* das tecnologias de informação.

Concordamos com a visão de Pierre Lévy<sup>3</sup>, segundo a qual a técnica participa ativamente da ordem cultural e simbólica, pois se encontra misturada de modo intenso às formas de organização social, às instituições, às religiões, às representações em geral. Ele demonstra que tanto as antigas técnicas, como a impressão e a escrita, quanto as novas técnicas, como o computador e a Internet, são capazes de estruturar a experiência. Contudo ele alerta para uma certa barreira cultural, exatamente porque as técnicas antigas são consideradas impregnadas de valores culturais e sociais, ao passo que as técnicas avançadas são vistas como bárbaras e contrárias à vida. Se existe de fato esta barreira cultural, que impede a ampliação do conhecimento, seria possível arriscar novas alternativas conceituais e teóricas? Vivenciamos hoje em dia inovações tecnológicas no campo da simulação computadorizada que superam em muito as nossas expectativas. Se o uso da trena, do lápis, do papel e da câmara fotográfica ainda garante o sucesso da maioria dos levantamentos de edificações, o computador atua como interface entre o usuário e os dados e desenhos digitalizados, ou seja, uma janela para visualização e construção semi-automatizada de sistemas visuais. Desse modo, não há como negar que o computador se tornou um desses dispositivos técnicos que estendem nossa percepção do mundo, principalmente no plano empírico, pois cada vez mais concebemos os processos cognitivos através de uma matriz de leitura informática.<sup>4</sup>

O universo de possibilidades analíticas é muito amplo, considerando que estamos tratando de um processo relativamente novo: a crescente digitalização do mundo, com a prática pontual da reconstrução tridimensional de monumentos históricos, edifícios e mesmo de grandes conjuntos urbanos. Dependendo dos contextos e dos objetivos, ou seja, o que é estudado e o que se pretende compreender com os processos de registro, pode-se pensar nos reflexos desse modo de pesquisa na prática da Arquitetura e do Planejamento Urbano. Dependendo da escala do projeto, detalhes serão exigidos, ou pelo contrário, suprimidos. Normalmente, a modelização de conjuntos urbanos é caracterizada pela baixa fidelidade ao original, onde se tenta equilibrar visualização com o aporte de informações georeferenciadas. No caso de esculturas e

---

<sup>3</sup> LÉVY, Pierre. **As Tecnologias da Inteligência: O Futuro do Pensamento na Era da Informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 2004.

<sup>4</sup> LÉVY, 2004, p. 31.

edifícios históricos, onde a similitude visual é uma condição determinante para a simulação computadorizada, os trabalhos ocorrem no sentido de registrar e representar visualmente os detalhes da maneira mais verossímil.

Inseridas no foco da nossa pesquisa enquadram-se as mais avançadas tecnologias de informação associadas à prática da Arquitetura, tais como a fotogrametria digital, o *laser scanner*, a visão computacional, a computação gráfica e o “sensoriamento remoto” de edificações através de câmaras termográficas e equipamentos de ultra-som. Estas são as principais interfaces tecnológicas que surgiram, ou foram aprimorados, nas últimas décadas, e estariam estruturadas de acordo com a Figura 1.

O objetivo principal desta pesquisa é analisar criticamente a evolução histórica que culminou com a utilização de tecnologias digitais na documentação e no projeto de Arquitetura e Urbanismo. Buscamos ainda, elementos para responder a algumas questões fundamentais que poderiam esclarecer as relações entre fotogrametria, computação gráfica e Arquitetura: a fotogrametria arquitetônica poderia ser um campo de trabalho do arquiteto? Há condições para o uso concomitante da tecnologia analógica e da tecnologia digital na fotogrametria arquitetônica? Em outras palavras, é possível se falar em um modelo híbrido aproveitando-se a vantagem dos modelos analógico e digital separadamente? De que modo seria possível constituir este modelo híbrido de tecnologias para a documentação, a simulação e o projeto em Arquitetura e Urbanismo? Haverá um incremento qualitativo nas análises orientadas com a sofisticação da representação de determinados cenários no contexto do estudo da evolução urbana?

O problema poderia ser assim formulado: quais os limites práticos e metodológicos no uso das ferramentas *hi-tech* nos processos de documentação e nas análises de modelos tridimensionais da estrutura urbana produzidos a partir destas tecnologias? Que tipo de análise seria particularmente mais precisa na representação visual, ou na simulação de determinado objeto? Não é suficiente para qualquer análise a escolha do objeto. Tem que se ter em mente o contexto da análise, que valores serão atribuídos aos diversos aspectos intrínsecos ao edifício ou conjunto urbano, sejam eles puramente culturais, artísticos, históricos, entre outros.



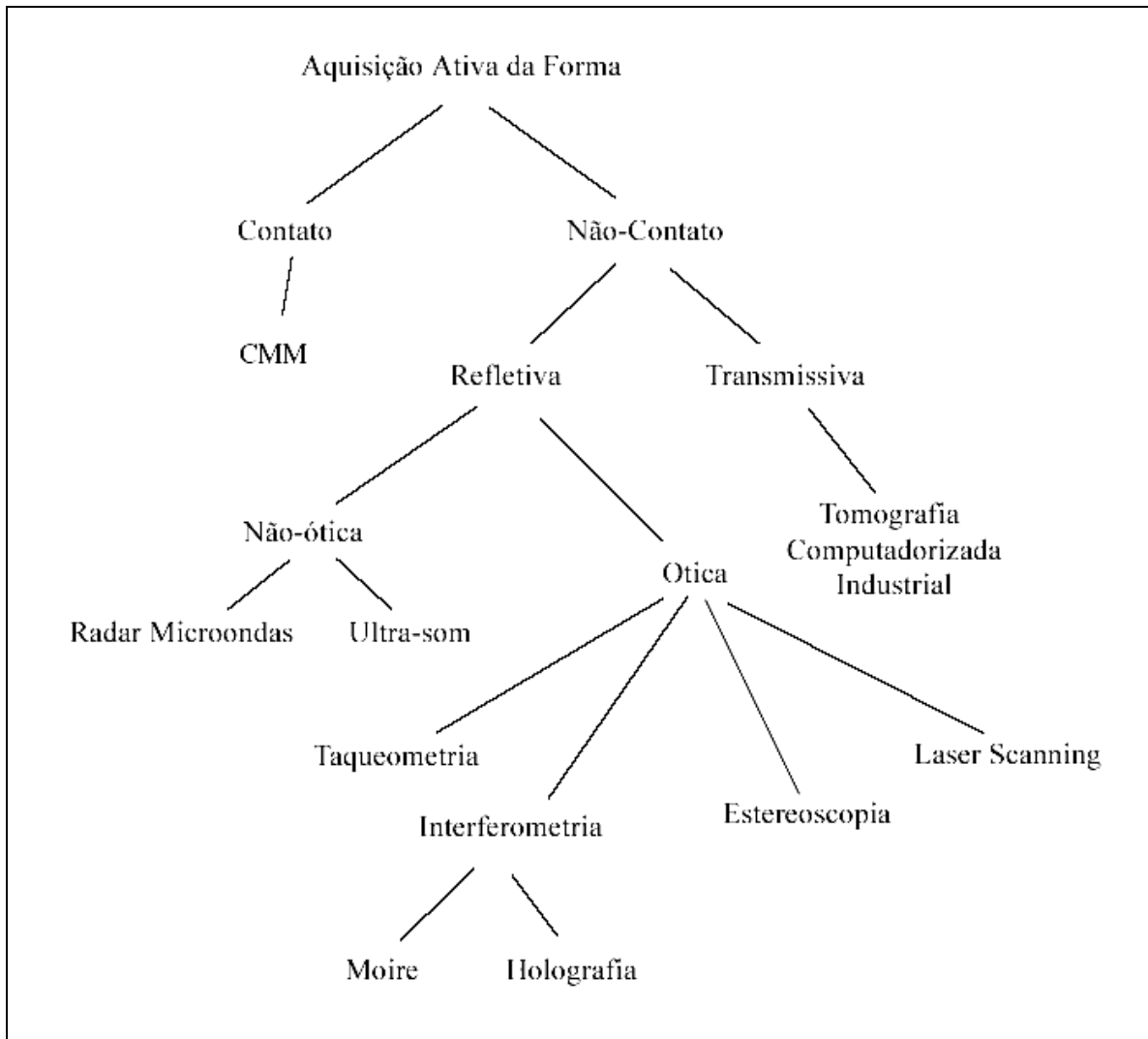


Figura 1: Métodos para aquisição tridimensional de objetos.

Fonte: Brian Lee Curless.

Um dos resultados de minha pesquisa sobre o conjunto urbano da rua dos Caetés<sup>5</sup>, em Belo Horizonte, realizada no ano de 1997, foi a produção de um CD-Rom contendo todas as informações digitalizadas na forma de um único hipertexto, onde textos, imagens, vídeos e sons eram organizados na forma blocos interativos. Ao acionar um determinado ícone com o *mouse*, o usuário teria acesso a uma série de informações multimídia, que por sua vez o levariam a outras informações através de conexões especiais, os *hiperlinks*. Em lugar de seguir um encadeamento linear e

<sup>5</sup> REZENDE, Wagner de Souza. **Conjunto urbano da rua dos Caetés – estudo da evolução urbana**. PIBIC-CNPQ, 1997. 45 p. Relatório Técnico.

exclusivo, o usuário poderia formar diversas seqüências associativas, conforme seu interesse. Tecnicamente, o hipertexto é um ordenamento na forma de uma rede, onde cada nó tem múltiplas conexões, onde os nós poderiam ser textos, imagens, *softwares*, sons, vídeos, além de outros hipertextos. Funcionalmente, o hipertexto é um tipo de programa para a organização de conhecimentos ou dados, para a aquisição de informações e a comunicação entre as pessoas.

Acredito que, em grande medida, este trabalho que desenvolvi foi também de caráter especulativo, assumindo todas as possíveis acepções da palavra especular: examinar com atenção, averiguar, observar, indagar, pesquisar, informar-se minuciosamente de algo, cogitar, refletir, meditar, raciocinar, considerar. Daí ser oportuno falar de outra acepção de especular, que é a característica própria dos objetos reflexivos ou transparentes, pois antes de tudo este é um texto reflexivo sobre tecnologia e Arquitetura, mas também é um texto que reflete a natureza dos temas pesquisados. É histórico em relação à história dos eventos; teórico sobre as teorias subjacentes às inovações tecnológicas; e técnico ao relacionar as técnicas e processos de levantamento e construção de modelos computadorizados. Ao usar *hardware* e *software*, enquanto extensões da memória e a serviço da reflexão, me vi construindo uma rede de informações em que praticamente todos os assuntos abordados nesta dissertação se relacionavam por associação de idéias. Ao organizar, catalogar e estruturar todas as informações armazenadas na forma de um único hipertexto, materializado no formato de arquivos digitais, o objetivo era claro: estabelecer um fluxo não-linear de dados e ações.

Mesmo que o presente trabalho seja agora apresentado sob a forma de texto impresso em papel, sua montagem esteve circunscrita naquele hipertexto inicial, aproximando-se da idéia de Vannevar Bush<sup>6</sup> ao conceber o *Memex*. Em seu artigo de 1945, intitulado *As we may think*, Bush assume como obsoletos e inadequados à metodologia científica grande parte dos sistemas de indexação e de organização de informações existentes, nos quais a abordagem hierárquica e linear é ainda dominante. É

---

<sup>6</sup> Vannevar Bush era Diretor do Escritório de Pesquisa Científica e Desenvolvimento na época da publicação desse artigo. Foi um matemático e físico renomado, tendo inventado, na década de 1930, uma calculadora analógica e contribuiu no projeto do ENIAC, o primeiro computador eletrônico digital.

claro que ele não prevê uma substituição sistemática, mas uma abordagem alternativa na forma de uma matriz organizada espacialmente gerando um complexo sistema eletromecânico, onde a classificação e a seleção dos dados áudio-visuais e textuais seria feita por associação de idéias, paralelamente à clássica organização hierarquizada. Em outras palavras, através de controles acessíveis ao usuário as informações, contidas em microfilmes e fitas magnéticas, poderiam ser “acessadas” e “interligadas” de acordo com os objetivos do usuário, criando, assim, uma memória auxiliar “computadorizada” que poderia ser acessada a qualquer momento com o simples toque de um botão.

Toda forma de representação é uma forma de abstração. Entretanto uma distinção deveria ser feita entre a representação artística de um monumento e a representação da sua forma geométrica obtida a partir de medições precisas, pois apenas esta, e não aquela, poderia servir de base de um levantamento confiável e detalhado da edificação. As linhas dominantes, os eixos verticais ou horizontais, a simetria, os ritmos dos vãos, os detalhes escultóricos e os diversos tratamentos dados aos materiais empregados na obra de arte tornam-se, assim, elementos fundamentais para o conhecimento da forma e para a valorização exemplar do monumento histórico. Nesse sentido, a apreensão da superfície dos objetos e o interesse em compreender sua estrutura tectônica somam-se à Arqueologia das técnicas construtivas e artísticas. A partir da percepção visual do mundo é exigida do pesquisador uma síntese entre a forma geométrica e as impressões deformadas da realidade devido ao impacto da obra sobre o técnico investigador. Esse impacto é, muitas vezes, responsável pela deformação da forma real do edifício, ou seja, a forma aparente percebida por quem observa é geralmente distorcida, enfatizando certas estruturas que são menos aparentes, ou ignorando outros aspectos que poderiam ser mais evidentes.

Com o intuito de acompanhar mais claramente a evolução das técnicas de levantamento das edificações e da cidade e a transformação das tecnologias de informação durante o século XX, este trabalho se divide em três partes.

Na primeira parte, dedico-me a encontrar o que eu chamaria de ponto de partida, ou seja, o movimento inicial que poderia ser entendido como referência fundamental no levantamento geométrico da Arquitetura da cidade. Tendo encontrado no pequeno texto *Descriptio Urbis Romae*, de Leon Battista Alberti, este marco

referencial, volto um pouco mais no tempo para encontrar em Vitruvius as primeiras indicações sobre o hábito de medir, em meio à narrativa mítica quanto a proporção e a simetria. Considero este percurso histórico, que busca em Vitruvius, Alberti e, por fim, em Gaspard Monge, uma matematização cada vez mais ampla e mais intensa do mundo, uma fundamentação histórica e crítica dos capítulos seguintes.

Na segunda parte deste trabalho, tento demonstrar como a geometria projetiva, a estereoscopia e a fotografia, ambas inventadas e aprimoradas no século XIX, tornam-se partes de uma nova disciplina, a fotogrametria. Esta nova área do conhecimento, no início dedicada ao estudo de monumentos históricos, desenvolveu-se rapidamente e, após a invenção do avião, tornou-se o mais importante instrumento de documentação cartográfica existente. Neste capítulo, eu procuro evidenciar as possibilidades que a fotogrametria arquitetônica tem oferecido nos últimos 30 anos, na preservação do patrimônio histórico, na investigação arquitetônica e no planejamento das cidades.

Na terceira parte do texto, dedico-me o a analisar as interferências e interações possíveis entre fotogrametria digital, visão computacional e Arquitetura. Ao estudar as divergências e convergências entre o analógico e o digital, seja na representação ou na construção de modelos tridimensionais, tento situar algumas questões pertinentes sobre o conhecimento por simulação, tendo por base a visão de Pierre Lévy. Além disso, empreendo uma análise crítica do trabalho de Paul Debevec, desenvolvido em Berkeley, no qual ele apresenta um método de reconstrução do objeto arquitetônico a partir de fotografias. O objetivo desta análise é, em última instância, apontar novos caminhos para a simulação computadorizada em Arquitetura e Urbanismo, utilizando metodologias eficientes e acessíveis.

## 2 NÚMERO, GEOMETRIA E O VÍCIO DE MEDIR.

### 2.1 As Origens das Medidas

A invenção da agricultura foi o primeiro passo para a fixação do homem na terra, no curso de um longo processo de substituição à colheita e à caça. Foi também o ponto de partida no uso sistemático da tecnologia para a manipulação da natureza, o que significou a transformação do *Caos* em *Ordem*. A procura do ser humano pela padronização de medidas de distâncias é quase tão antiga quanto a invenção da escrita nas primeiras civilizações. Os primeiros traços de técnicas matemáticas acompanharam a evolução da escrita e se refletiram nos sistemas de numeração primitivos, que permitiram a manipulação de dados relativos ao calendário e às transações comerciais, ao passo que o aparecimento de uma geometria elementar possibilitou o desenvolvimento de métodos para o cálculo de áreas e volumes, bem como na construção de edifícios.<sup>7</sup>

Na construção dos primeiros altares monolíticos, santuários e templos, a procura por um *padrão* levou o homem a medir as coisas segundo uma ordem mitológica no mundo. Conseqüentemente, os mais diferentes sistemas surgiram nas mais antigas civilizações, a partir da origem mítica da proporção, sendo o homem sua figura central. Na maioria das vezes, a permanência desses sistemas era intermitente e imprecisa, variando de acordo com o poder dos reis e faraós, que, como ilustra a História, incorporavam a potência divina no mundo antigo. Quase todos os padrões de medidas de distâncias, também os padrões de medidas de peso e volume, tiveram em sua gênese o corpo do homem e as relações existentes entre os seus membros. Isso explica a existência, ao longo da história, de uma grande semelhança dos sistemas métricos entre as civilizações antigas e, ainda, a permanência ao longo dos séculos dentro de uma mesma cultura. Os povos mesopotâmicos, os persas, os gregos e os

---

<sup>7</sup> Para um estudo mais aprofundado do tema, indico a leitura dos textos de BAUMANN, bem como a obra de CHASLES.

egípcios estabeleceram padrões semelhantes entre si talvez em consequência das trocas comerciais e das guerras. Segundo historiadores, nas culturas antigas da Índia, China e Japão, outros parâmetros prevaleceram durante séculos, diversos daqueles praticados no Mediterrâneo, provavelmente devido ao isolamento geográfico desses povos. Fatores ligados à religião, ou à organização social e tecnológica desses povos, constituem a razão mais provável de tais sistemas não apresentarem origens antropométricas. Neste sentido, vale dizer que as unidades de medida de distância foram, na maioria das vezes, introduzidas nas culturas antigas através das práticas sociais e religiosas, ou seja, nas atividades cotidianas da agricultura, do comércio e no culto aos deuses. Como os povos ancestrais do ocidente, ou cultuavam o deus personificado na figura do faraó, ou construía templos a deuses gregos antropomorfos, é natural que tenham construído, a partir dessas referências, seus padrões de medidas de distâncias.

Na origem dos padrões construídos pelo homem antigo para estabelecer um sistema de unidades de medida de distâncias, o cúbito sumério, gravado numa barra de cobre com 30 divisões e medindo exatos 518.5 mm, é considerada a primeira “medida padrão” de que se tem conhecimento, tendo sido largamente usado em torno de 3.000 a.C., segundo os historiadores.<sup>8</sup> A origem etimológica do termo “cúbito” está ligada à anatomia do corpo humano, designando o osso longo situado na face interna do antebraço. O pé, o dígito e o palmo também foram padronizados desde as primeiras civilizações, principalmente entre os mesopotâmicos e os egípcios, com o objetivo de ordenar a construção dos templos e das cidades sagradas. A mais antiga escala de medidas preservada atualmente é exatamente igual ao comprimento do pé de Gudea, governador sumério de Lagash, em torno de 2575 a.C. Equivalendo a 264.6 mm, o pé da estátua do governador era o padrão de medidas permitido durante seu governo para transações comerciais.

Apesar das diferenças entre as diversas regiões e épocas, algumas escalas padronizadas eram extremamente precisas, como se pode verificar em monumentos históricos milenares como, por exemplo, as pirâmides do Egito. A base do sistema de medição durante séculos no Egito antigo, com variações mínimas, foi o cúbito real, hoje

---

<sup>8</sup> Para mais informações ver: <<http://ancient-weights-and-measures.ask.dyndns.dk/>>.

523mm no Sistema Internacional. Era equivalente na época à distância entre a ponta do dedo médio e o cotovelo do faraó, ou do sumo sacerdote. Seguindo as orientações do sumo sacerdote, uma escala era construída em granito com precisão “absoluta” e instalada na entrada de cada templo ou palácio para conferência e confecção de réplicas, muito utilizadas pelos artesãos e artistas daquele tempo. Esse procedimento não se restringiu apenas à sociedade antiga,<sup>9</sup> sendo também muito comum nas cidades européias até fins do século XVIII. Entre os povos árabes, o cúbito também era a unidade de medida mais usada nos tempos antigos, porém com outra denominação: côvado.<sup>10</sup> Na Bíblia aparecem quase 150 referências a essa unidade de medida, apenas no antigo testamento como, por exemplo, no livro de Gênesis se explica a Noé sobre a construção da arca: “deste modo a farás: de trezentos côvados será o comprimento; de cinqüenta, a largura; e a altura, de trinta”.<sup>11</sup>



Figura 2: Estátua de Gudea, governador sumério de Lagash, em torno de 2575 a.C.

Fonte: History of Egypt, L. W. King e H. R. Hall.

---

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.digitalegypt.ucl.ac.uk//weights/lenght.html>>. Acesso em: 15 jun. 2006.

<sup>10</sup> O côvado é uma antiga unidade de medida de comprimento equivalente a três palmos, também denominado cúbito em algumas regiões.

<sup>11</sup> GÊNESIS, 6:15.

Em 8 de maio de 1790, pouco tempo depois da Revolução Francesa, foi aprovado na França o novo padrão de medida de distâncias do Sistema Internacional: o metro. O nome vem do grego *μέτρο* e do latim *metrum*, que significam medir. É definido em 1791 como equivalente a 1/10.000.000 da distância do equador ao pólo norte, passando pelo meridiano de Paris. Em 1960, por ocasião da realização da XI conferência geral sobre pesos e medidas, assim foi definida esta unidade de comprimento: o metro é o comprimento igual a 1.650.763,73 extensões de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis  $2p_{10}$  e  $5d_5$  do átomo de *KRYPTON 86*. Sete anos mais tarde, a XIII conferência geral adotou uma definição análoga para a unidade de tempo: o segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfins do átomo de césio 133 em seu estado fundamental. Após diversas atualizações, em 1983 o metro passou a ser equivalente à distância percorrida pela luz no vácuo no intervalo de 1/299.792.458 de um segundo.<sup>12</sup> Considerada pela maioria dos cientistas uma constante universal, a luz tem propriedades físicas mais precisas e passíveis de reprodutibilidade. Desse modo, por influência do pensamento positivista e de uma ciência cada vez mais determinista, é estabelecido um padrão de medida de distância que é decisivo no processo de matematização da natureza, com seus múltiplos e submúltiplos estabelecidos segundo uma divisão decimal da realidade externa ao homem. A institucionalização do metro, unidade padrão de medida de distâncias, tem o objetivo de ocupar um domínio que foi durante séculos da antropometria enquanto construção da simetria e da ordem no mundo sublunar.

Paul Virilio<sup>13</sup> compreende bem essa transformação cultural quando afirma que, desde a medição da terra e da análise cada vez mais precisa da matéria, passamos do padrão confeccionado em metal precioso aos átomos e moléculas:

... chegamos hoje à supremacia da luz, à medição sempre mais exigente de sua velocidade de propagação para tentar projetar a forma-imagem de um meio natural em que as extensões do espaço e as distâncias de tempo são fundidas/confundidas em uma representação puramente digital, uma imagem

---

<sup>12</sup> Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/>>. Acesso em: 19 jun. 2006.

<sup>13</sup> VIRILIO, Paul. **O espaço crítico**. São Paulo: Editora 34. 1994.



sintética que não depende mais da ordenada observação direta e tampouco da visualização ótica inventada por Galileu, estando vinculada a receptivos magnéticos ou, ainda, a analisadores de espectro e de “frequências-metro” em que a própria aquisição de dados é realizada por computadores.<sup>14</sup>

A medida e o dimensionamento das quantidades físicas têm desempenhado um papel fundamental no conhecimento das teorias científicas. É necessário observar a crescente desmaterialização dos referentes: os padrões primários de medidas que utilizavam ao longo dos séculos metais preciosos, medidas geodésicas e corpos físicos, passam a ter como referência modelos matemáticos altamente sofisticados. Os materiais serão preteridos como escala em favor da luz, das interferências luminosas. A partir da confirmação, através de experiências científicas, da constância da velocidade da luz, será permitida a escolha de uma extensão de onda de radiação atômica para definir a unidade de comprimento.



Figura 3: O metro-padrão instalado no número 36 da rua de Vaugirad, em Paris. O governo francês instalou cerca de 16 unidades nas áreas mais movimentadas de Paris entre 1796 e 1797.

Fonte: <[http://perso.numericable.fr/~bdecorte/Index.htm?F\\_6.htm](http://perso.numericable.fr/~bdecorte/Index.htm?F_6.htm)>

---

<sup>14</sup> VIRILIO, 1994, p. 31.

## 2.2 Simetria e Ordem

*De que se ocupam os matemáticos, se não é da ordem e da proporção?*

Aristóteles: Metafísica, Capítulo 3, Livro II

“A Geometria nasceu com os caldeus e com os egípcios”, afirma Michel Chasles<sup>15</sup> de forma dogmática na introdução do seu *Aperçu Historique sur l’Origine et Développement des Méthodes en Géométrie*, publicado em 1837. Chasles foi um dos grandes pensadores do século XIX, tendo contribuído, através dos seus escritos, para a difusão e institucionalização do pensamento positivista na França. Os primeiros progressos no estudo da Geometria começaram com o filósofo Tales (639-548) que, nascido na Fenícia e instruído no Egito, fundou em Mileto a Escola Jônica, sendo que um de seus discípulos mais conhecidos foi o filósofo Pitágoras (571-496).<sup>16</sup> Tales estudou as retas e os ângulos e fez demonstrações formais rigorosas sobre a geometria do círculo e do triângulo isósceles. Além disso, segundo Heródoto, Tales teria feito o histórico cálculo da altura de uma pirâmide do Egito baseado no comprimento de sua sombra em determinado horário do dia, utilizando apenas uma haste de madeira ou metal e seus conhecimentos de gnomônica.

Geometria, na definição etimológica do termo, significa *medir a terra*, talvez por sua dupla origem mítica e histórica na demarcação de terras. Além disso, a palavra grega *γεωμετρία* também poderia ser traduzida como *agrimensura* em outras línguas, reforçando sua ligação com a medida de distâncias no mundo. Evidentemente, mesmo para os primeiros filósofos, essa definição já era insuficiente, chegando a ser considerada ridícula por alguns. Seu significado foi, ao longo do tempo, sendo modificado, passando a ser considerada, a Geometria, a *ciência que tem por objetivo medir as extensões dos objetos*. De fato, com cada vez mais frequência, a simples idéia de *medir* foi substituída pela idéia mais complexa de *medir e ordenar*, que

---

<sup>15</sup> CHASLES, Michel. **Aperçu Historique sur l’Origine et Développement des Méthodes en Géométrie**. Sceaux: Éditions Jacques Gabay. 1989.

<sup>16</sup> CHASLES, 1989, p. 4.

corresponderia ao duplo objetivo de toda ciência, de acordo com Decartes.<sup>17</sup> A descrição das medidas dos objetos e a análise das relações dos corpos no espaço estariam, nas palavras de Chasles, confirmando o duplo caráter da Geometria: prática, quando descreve e explicita a organização dos corpos no espaço, teórica, quando leva os filósofos a investigarem a dinâmica das relações matemáticas entre os objetos através de abstrações e generalizações.

O arquiteto romano Vitruvius<sup>18</sup> foi o primeiro tratadista da Arquitetura e o primeiro arquiteto a sistematizar conceitos, métodos e técnicas construtivas de forma a serem aplicadas pelos arquitetos das gerações futuras. O tratado *De Architectura* é composto por dez livros contendo ensinamentos, ou instruções e conselhos, que tratam sumariamente de questões próprias da construção de edifícios e cidades. Após afirmar que há três “divisões” na Arquitetura, que seriam a arte de construir, a montagem de instrumentos para medir o tempo e a construção de máquinas, Vitruvius nos diz que toda edificação deve revelar, através da apreensão espacial, a durabilidade, a conveniência e a beleza. Em outras palavras, *firmitas, commoditas, venustas*. Enquanto as duas primeiras qualidades derivam de uma aplicação em grande parte direta da geometria e da matemática, no caso da beleza, a geometria está implícita: nas palavras de Vitruvius, esta qualidade é evidente quando a aparência da obra é agradável e de bom gosto, e quando seus membros são de acordo com a devida proporção e com os corretos princípios de simetria.<sup>19</sup>

Quando Vitruvius, logo no primeiro capítulo do terceiro livro, escreve sobre as regras de simetria, adverte que tais princípios devem ser cuidadosamente respeitados. Ele define a proporção como sendo a correspondência das medidas das partes com o todo e também do todo com uma certa parte do corpo, definida como medida padrão. Esta simetria, que os arquitetos devem seguir ao construir os templos, teria como referência a natureza humana: “de tal sorte a natureza compôs o corpo o homem que seu

---

<sup>17</sup> CHASLES, 1989, p. 22.

<sup>18</sup> VITRUVIUS, Marco Polion. **The Ten Books on Architecture**. New York: Dover Publications. 1960.

<sup>19</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 17.

rosto, desde sua barba até o alto da testa, na raiz do cabelo, é igual à sexta parte de sua altura”.<sup>20</sup>

A analogia entre o corpo humano e a medida das coisas no mundo tem origem nas diversas culturas desde tempos imemoriais, mas é com Vitruvius que essa analogia se transforma numa verdadeira teoria. É em seu texto que a antropometria, ou seja, o estudo das medidas do corpo humano e das relações entre suas partes aparece como um conjunto de regras e proporções ideais ligados à arquitetura templária grega, simbólica em sua essência. Neste caso, os números não expressam apenas uma razão matemática, nem têm um propósito exclusivamente prático. Mais do que isso, referem-se ao homem como obra de uma simetria divina. Assim, Vitruvius conclui que o corpo humano deveria ser considerado, a exemplo dos antigos, a referência máxima no estabelecimento de uma proporção entre cada uma das partes com o todo na construção dos edifícios.<sup>21</sup> Em outro trecho que considero importante, no segundo capítulo do sexto livro, Vitruvius analisa um novo aspecto da simetria: o seu duplo sentido, que poderíamos chamar de visual e tátil. Nesse ponto é reiterado que a simetria é o objetivo maior do arquiteto na construção de edifícios e que não há nada que seja mais admirável do que construir um edifício corretamente proporcionado. Ele nos alerta, ainda, que a realidade construída pode ter uma falsa aparência e que, no caso dos objetos serem apresentados aos olhos de modo equivocado, digo desproporcionado, certas diminuições ou adições poderiam ser feitas de modo a se manter a simetria.<sup>22</sup> Podemos, assim, perceber que o que muitos teóricos da Arquitetura chamam “correções óticas” foi sugerido por Vitruvius, inspirado pela arquitetura templária grega, com o objetivo corrigir as distorções visuais causadas quando se observa qualquer edifício de diferentes pontos de vista.

---

<sup>20</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 72

<sup>21</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 73.

<sup>22</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 174-175.

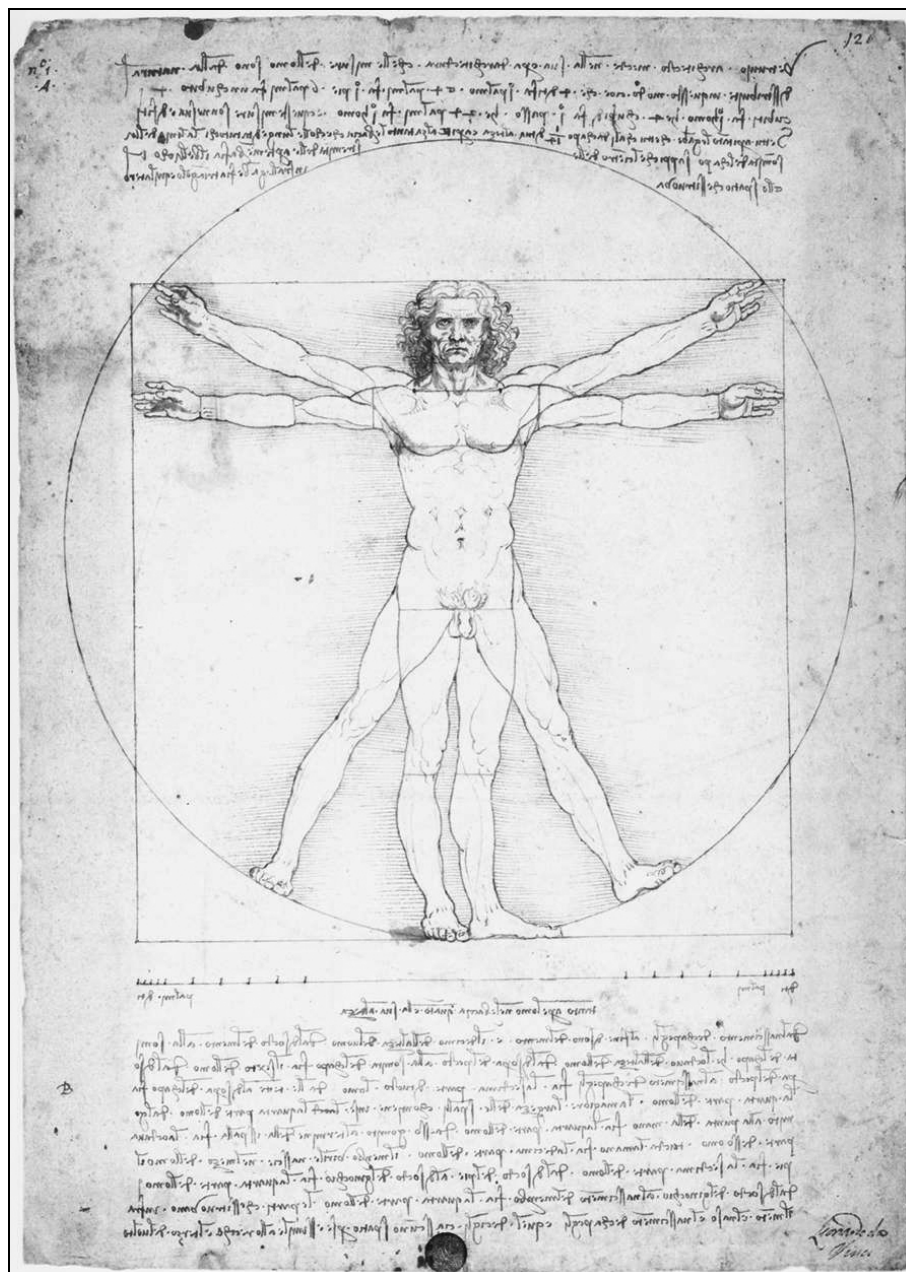


Figura 4: O homem de Vitruvius, segundo desenho de Leonardo Da Vinci.

A ilustração mais conhecida de Leonardo Da Vinci, provavelmente datada do ano de 1490, é considerada por muitos o manifesto do Renascimento. O desenho, ilustrado na figura 4, é conhecido como o “homem de Vitruvius” e parece ter sido inspirado na leitura do tratado do arquiteto romano.<sup>23</sup> Da Vinci desenha um homem nu,

<sup>23</sup> BUSSAGLI, Marco. A Misura d’Uomo. **Art e Dossier**. Disponível em: <<http://matematica.uni-bocconi.it/leonardo/uomo.htm>>. Acesso em: 11, dez., 2005. De acordo com Bussagli, a datação de 1490

com os braços e as pernas ao mesmo tempo abertos e fechados, simulando movimento, inscrito simultaneamente num círculo e num quadrado. O desenho de Da Vinci revela uma cuidadosa interpretação do texto antigo e se distingue das ilustrações anteriores por observar que o quadrado e o círculo não têm o mesmo centro geométrico. O resultado é uma figura que simula movimento, dinâmica, com os braços e pernas dentro do círculo e do quadrado, representando de modo matemático a narrativa de Vitruvius e transcendendo a própria intenção do artista, tornando-se posteriormente o símbolo de uma nova visão de mundo, onde o homem novamente ocuparia um lugar central na história.

Durante o Renascimento a simetria das edificações é estudada em função de uma geometria universal, principalmente após a redescoberta do texto Vitruvius e das ruínas gregas e romanas. Leon Battista Alberti<sup>24</sup> (1404-1472) foi um dos mais interessados estudiosos de Vitruvius e analisa no *De Re Aedificatoria* que a “beleza de todos os edifícios é determinada principalmente por três coisas, sejam elas, o número, a forma e o arranjo das suas diversas partes”.<sup>25</sup> No seu texto, Alberti remete a origem da simetria à imitação da natureza pelos povos antigos e, quando ele conclui que é na correspondência entre o número, a forma e a concordância das partes com o todo que reside a principal lei da natureza e o objetivo máximo da Arquitetura,<sup>26</sup> assume que essa correspondência deriva de uma concepção matemática e geométrica da natureza, ainda que apoiada em princípios míticos. Continuando, Alberti descreve as três maneiras de adornar uma edificação, inventadas pelos antigos, seguindo os princípios por ele apresentados, dando a essas ordens os nomes de seus inventores que foram os povos Dóricos, Coríntios e Jônicos. Assim, tanto no texto de Vitruvius quanto em Alberti, a simetria é apresentada ao leitor com uma explicação fundamentada na origem mítica da geometria ligada à construção do mundo, como na história que relata o momento em que os dóricos

---

se deve a Carlo Pedretti, que relaciona esse desenho com a pesquisa de Da Vinci sobre edifícios de planta central.

<sup>24</sup> ALBERTI, Leon Battista. **The Ten Books of Architecture**. New York: Dover Publications, 1986.

<sup>25</sup> ALBERTI, 1986, p. 114.

<sup>26</sup> ALBERTI, 1986, p. 195.

tomaram a medida de um pé humano e compararam com sua altura. Concluindo que, no homem, esta medida é igual à sexta parte de sua altura, eles aplicaram a mesma proporção à coluna, elevando seu capitel a uma altura seis vezes a largura da sua base. Desse modo, a coluna dórica, do modo como era usada nas construções, começou a exibir as proporções, força e beleza do corpo de um homem.<sup>27</sup>

Nesse contexto, a proporção humana torna-se a mais utilizada na construção dos templos dedicados aos deuses e, por extensão, na edificação das casas dos homens. No horizonte mítico do texto de Vitruvius, o número e a simetria estiveram sempre situados segundo uma ordem imutável e superior às transformações do cotidiano. O que nos indica que a descoberta da teoria na Grécia permitiu o princípio de um logos da Arquitetura, que perdurou durante o Renascimento e até o século XIX.

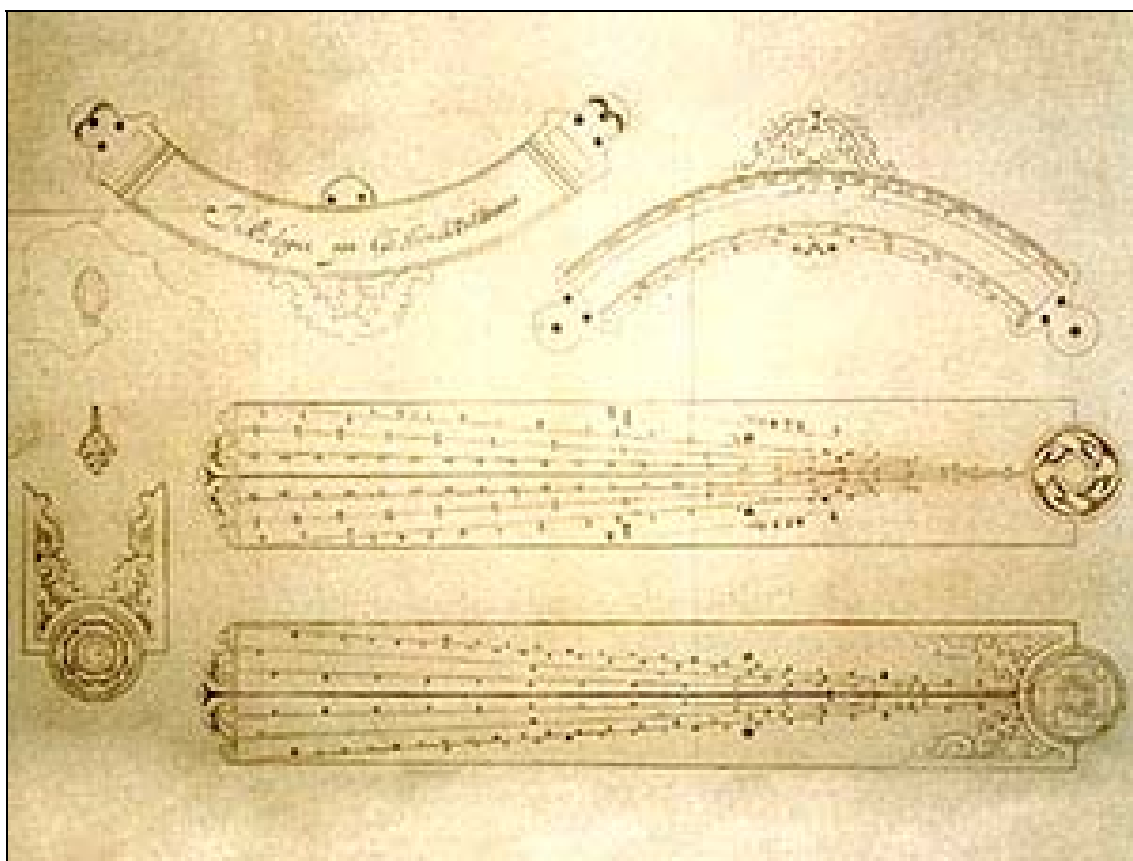


Figura 5: Compasso Geométrico de Galileu. Construído em 1606, poderia ser utilizado para medir e calcular distâncias, áreas e volumes através de quatro tipos de escalas.  
Fonte: <<http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/esim.asp?c=200901>>

<sup>27</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 103.

### 2.3 Fibonacci e a Nova Matemática

Leonardo Pisano, ou Fibonacci, como era conhecido, nasceu em 1170 e morreu provavelmente no ano de 1240, na cidade de Pisa, sendo considerado pelas gerações futuras de estudiosos o mais importante matemático da Idade Média. Fibonacci segue seu pai, um diplomata, em suas viagens pela Ásia e Norte da África, aprendendo ao longo dos anos a matemática comercial em uso nas diferentes partes do Mediterrâneo. Sabe-se que ele foi um leitor bastante interessado de Euclides, Ptolomeu e das obras dos matemáticos árabes do século XI. Se, durante a Idade Média, geometria e número ainda existiam como arquétipos do ideal e como símbolos da mais alta ordem, Fibonacci personificou essa tradição de “mágico dos números”, como era considerado pelos reis e pela nobreza. Foi precursor de uma nova matemática que, no entanto, alcançaria o seu auge apenas no século XIX.

De acordo com Horadam,<sup>28</sup> Fibonacci escreveu diversos livros dos quais, entretanto, apenas quatro conservaram-se: *Liber abaci* (1202), *Practica geometriae* (1220), *Flos* (1225) e *Liber quadratorum* (1225). O *Liber abaci* teve sua primeira tradução para o inglês moderno pelo professor Lawrence E. Sigler em 2002, contribuindo para a difusão do seu trabalho no mundo contemporâneo.<sup>29</sup>

De fato, o *Liber abaci*, considerado um marco na história medieval, tornou-se seu texto mais conhecido até hoje, atravessando gerações de comerciantes e eruditos interessados em novos conhecimentos práticos de matemática. O maior mérito do *Liber abaci* foi, com certeza, a introdução dos algarismos hindus 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, e 9 no ocidente, além da palavra zero, de origem árabe, que também foi inserida na matemática medieval por Fibonacci. O livro trata especialmente de demonstrar as quatro operações aritméticas, ou seja, a soma, a subtração, a multiplicação e a divisão, utilizando os nove algarismos indianos, juntamente com o zero. Fibonacci se ocupa, ao longo do livro, em realizar diversas proposições utilizando esse novo sistema decimal posicional e

---

<sup>28</sup> HORADAM, A. F. Eight hundred years young. In: **The Australian Mathematics Teacher**. n. 31, 1975. p. 123-134.

<sup>29</sup> HORADAM, 1975, p. 123.



ensinando passo-a-passo aos homens de seu tempo como trabalhar com esse novo código numérico, comparando-o com o sistema tradicional romano, incluindo tabelas com resultados das quatro operações aritméticas como exemplos.

Nas palavras de Fibonacci, ele pretende conciliar ao longo do livro teoria e prática, *scientia* e *ars*. O que encontramos no livro são problemas apenas aparentemente “práticos”, pois na verdade trazem consigo questões teóricas complexas como, por exemplo, a extração de raízes do quadrado e de cubo, o uso da regra da posição falsa, questões sobre séries, além de outras técnicas descobertas pelos matemáticos hindus e árabes. O último capítulo do livro, intitulado “Geometria e Álgebra”, trata não somente das questões relativas ao cálculo das áreas e volumes de objetos diversos, úteis para a prática mercantilista, como também elabora teorias sobre as equações de segundo grau desenvolvidas por Al-Khwarizmi.

Fibonacci apresenta o conhecimento matemático adquirido durante as suas viagens, tanto para os comerciantes e artesãos, quanto à nobreza e aos eruditos. Em quase todos os seus problemas existe uma história e um cenário particular, onde, muitas vezes de modo direto, ele expõe situações próprias do comércio em várias localidades do Mediterrâneo. Sua linguagem vernácula, com suas omissões e subentendidos certamente nos parecerá confusa hoje, mas estava totalmente sintonizada com a realidade de seus leitores contemporâneos. Chama a atenção o modo como são apresentados os problemas envolvendo o método da “falsa posição”. A importância do método está na possibilidade de se “apostar” uma quantidade qualquer para a solução de um sistema de equações lineares, ou seja, um número falso a partir do qual se chega ao valor verdadeiro procurado. É sabido que os homens cultos, os artesãos e engenheiros do Renascimento utilizaram os métodos de geometria e álgebra, ilustrados por Fibonacci, no estudo e na construção das cidades no século XV.

Fibonacci também levou à Europa pela primeira vez na história a noção de “algoritmo”, que deriva do nome do estudioso persa Al-Khwarizmi (780-850), cujo livro *Hisab Al-Jabr wal Mugabalah* (Livro de cálculo, recorrência e redução) influenciou definitivamente seu pensamento sobre matemática e geometria. Um algoritmo é um processo de cálculo matemático para a resolução de um conjunto de problemas, em que se estipulam, com generalidade e sem restrições, regras formais para

a obtenção do resultado. Além disso, complementando seu sentido original, poderíamos também utilizar em matemática as palavras "procedimento" e "método". Encontramos também, no seu primeiro texto, a famosa "seqüência de Fibonacci" em sua forma ainda primordial, exemplificada sob a forma de um problema prático no qual se quer saber "quantos pares de coelhos são gerados a partir de um par em um ano".<sup>30</sup> Essa seqüência, aparentemente sem importância para ele, tem sido exaustivamente estudada nos últimos dois séculos por matemáticos de todos os cantos do mundo e está intimamente relacionada com a proporção áurea.<sup>31</sup> Euclides aplica esta regra para descrever a construção de determinados polígonos regulares, como o pentágono, por exemplo, mas é na arte e na Arquitetura que tais conhecimentos encontrarão terreno fértil. Desse modo, podemos encontrar textos históricos comentando como os egípcios, seguidos pelos gregos, utilizavam a proporção áurea como parâmetro de ordenamento da forma e do espaço na construção dos edifícios.

---

<sup>30</sup> No original em latim: *Quot paria coniculorum in uno anno ex uno pario germinentur.*

<sup>31</sup> É no *Liber abaci* que se encontra o famoso problema dos coelhos que, reproduzindo uma vez a cada mês, tem o seu número aumentado de acordo com a seqüência definida pela função  $u_{n+1} = u_n + u_{n-1}$ . Fibonacci, entretanto, não explica sobre como chegou a essa seqüência e apenas calcula os doze primeiros termos dela, como enunciado no texto. A expressão "seqüência de Fibonacci" se deve ao matemático do século XIX, Édouard Lucas (1842-1891), que estudou sobre suas propriedades em seu *Recherches sur Plusieurs Ouvrages de Léonard de Pise* (1877).

## 2.4 As Técnicas de Medir

*Quanto mais os telescópios forem aperfeiçoados, mais estrelas surgirão.*

Gustave Flaubert

Heródoto de Halicarnaso<sup>32</sup> (485-452 a.C.) descreveu na sua “História” uma técnica rudimentar de medição de terras no Egito antigo. Ele nos conta que durante o reinado do faraó Sesostris, quando o rio Nilo transbordava sobre alguma porção de terra de qualquer agricultor, ele poderia ir até o faraó e declarar o que havia acontecido, pois o rei enviaria homens para examinar a terra ocupada, utilizando o gnômon, uma haste comprida em madeira ou metal, e cordas amarradas formando triângulos para medir o terreno e determinar quão menor ele havia se tornado. Após a confirmação das medidas levantadas, o imposto seria reduzido proporcionalmente à área perdida pela inundação. Outros relatos históricos revelam ainda o respeito que os egípcios tinham pelos limites de suas terras de cultura. Assim, avançar sobre o terreno do vizinho poderia significar pecado mortal, sendo a alma do usurpador condenada eternamente, de acordo com antigas crenças.<sup>33</sup> Desse modo, a Agrimensura praticada pelos egípcios se transformou numa verdadeira ciência exata, sendo precursora da Geometria, mais tarde levada à Grécia pelas mãos do filósofo Tales.

O gnômon não é nada mais do que uma peça de madeira ou metal. Apoiada verticalmente num plano horizontal, tem sido muito utilizada ao longo dos séculos para seguir o percurso do sol na esfera celeste através de sua sombra projetada no solo. Era utilizado principalmente como instrumento astronômico, com o objetivo de determinar com precisão o solstício de inverno e o de verão. É, com certeza, um dos processos mais antigos para se construir um relógio de sol e determinar o intervalo de um ano. Outros usos para esse instrumento arcaico eram: determinar com precisão a direção norte-sul e medir o azimute solar, ou seja, o ângulo que o sol faz com o horizonte a qualquer hora

---

<sup>32</sup> HERODOTUS. **Historia**. 2001. Disponível em: <[www.gutenberg.org/etext/2707](http://www.gutenberg.org/etext/2707)>. Acessado em: 08, nov., 2005.

<sup>33</sup> HERODOTUS, 2001, p. 252.

do dia. A condição matemática da semelhança de triângulos que a sombra projetada do sol possibilitava, indicou a utilização dessa técnica para a medição da altura de edifícios. Além disso, veremos adiante como essa haste construída em madeira, ou metal, se tornará um instrumento imprescindível no levantamento arquitetônico e urbanístico das cidades a partir do Renascimento. Como as medidas realizadas com o gnômon eram pouco precisas, Aristarchos (280 a.C.) inventou um outro instrumento, chamado *skaphe*. O *skaphe* é um relógio de sol sob a forma de um hemisfério, sendo construído para latitudes específicas. No centro do *skaphe* é fixada uma haste metálica apontando em direção à estrela polar, conhecida pelos antigos geômetras e matemáticos pelo seu percurso peculiar na esfera celeste. A sombra do gnômon indicava, através de inscrições na borda desse instrumento, as horas do dia. O *skaphe*, como dizem nos livros, foi utilizado por Erastóstenes para medir a circunferência da esfera terrestre no século III a. C., tendo alcançado valores muito próximos das medidas contemporâneas.

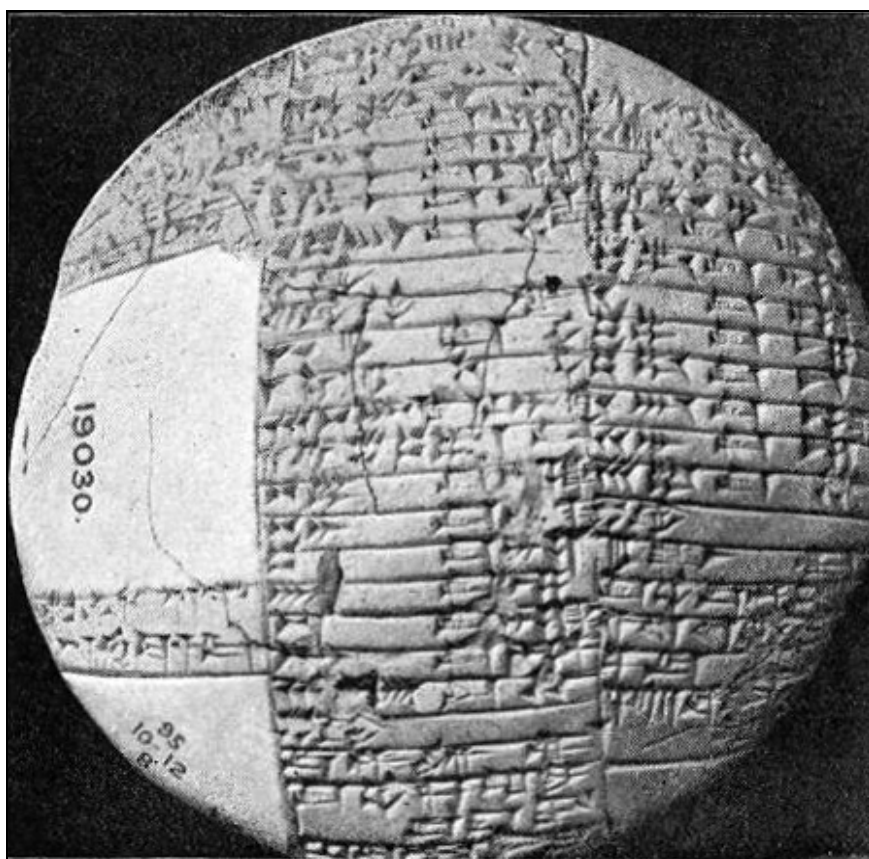


Figura 6: Peça suméria em argila, descrevendo a medição de uma propriedade rural.

Fonte: History of Egypt, L. W. King e H. R. Hall.

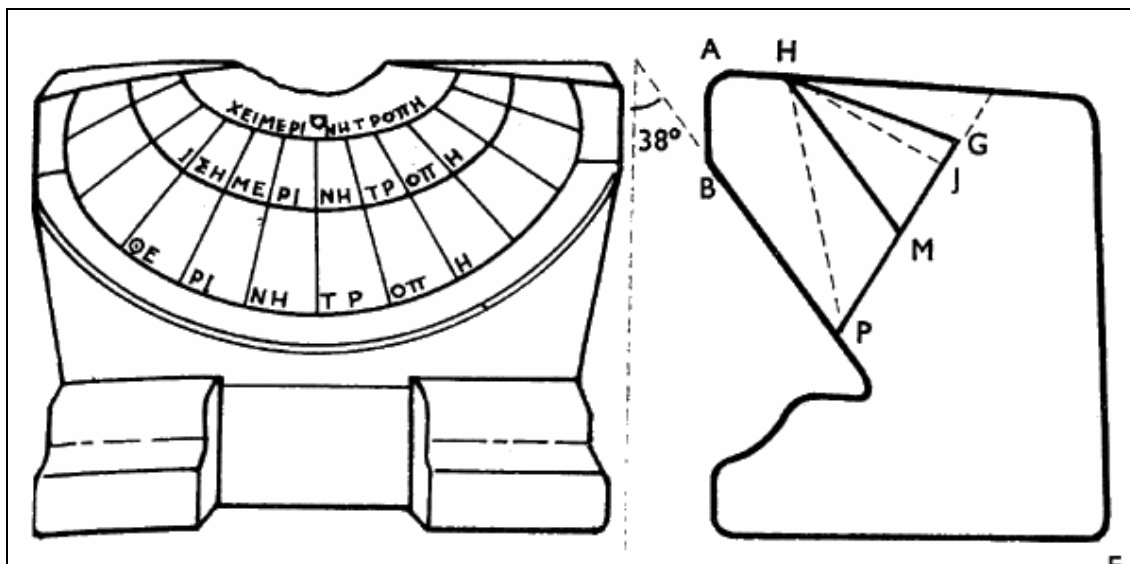


Figura 7: Esquema gráfico demonstrando a construção de um relógio de sol, ou *Scaphe*.

Durante o governo do imperador romano Augustus (27-14 a.C.), tomou-se o pé como medida padrão de distâncias, áreas e volumes, correspondendo hoje a 29,65cm. Essa padronização tinha um objetivo primordial: a construção e a inspeção de propriedades urbanas e rurais. Sabemos que os romanos construíam todas as cidades em forma de grelhas ortogonais, bem como todo o tipo de edificações segundo uma geometria regular, exigindo uma condição de exatidão muito incomum naquele tempo, demandando tanto instrumentos precisos quanto operadores com talento. O problema parece ter sido resolvido com a invenção de um instrumento peculiar chamado *groma*,<sup>34</sup> ou “cruz de medição” como dizem os livros especializados no assunto. A única peça remanescente foi encontrada intacta em Pompéia. O *groma* é composto de uma haste de madeira com uma lança metálica encaixada na extremidade que toca o solo ou um marco de pedra usado como base pelo inspetor; um braço articulado, ou *rostrum*, na outra extremidade; finalmente, apoiado neste, uma cruz de madeira, o *groma* propriamente dito. Localizado entre a haste e o *groma*, o *rostrum* era livre para girar em qualquer direção, dando ao *gromatici* total liberdade para “mirar” onde desejasse. Pelas

<sup>34</sup> A palavra *groma* também se referia ao centro de uma nova cidade romana, a partir da intersecção do *Cardus Maximus* e do *Decumanus Maximus*, principais vias das cidades construídas pelos romanos, respectivamente alinhadas com os eixos norte-sul e leste-oeste. Nesse ponto geográfico, geralmente dedicado à implantação do Fórum Romano, os *gromatici* - topógrafos romanos - iniciavam a construção da malha ortogonal das cidades, sendo que o *Cardus Maximus* era concebido como eixo principal de crescimento dessas cidades.

pontas do *groma* pendiam, presos a anéis de ferro, dois pares de linhas de prumo com pesos de formato idêntico para cada direção apontada. Assim, verificado o ponto de medição, era necessário apenas traçar uma linha no solo perpendicular às linhas do instrumento. Este instrumento guarda muitas semelhanças com o teodolito, que recebeu constantes aperfeiçoamentos técnicos durante o século XIX, sendo utilizado ainda em nosso tempo para diversos trabalhos de campo em topografia e Agrimensura.

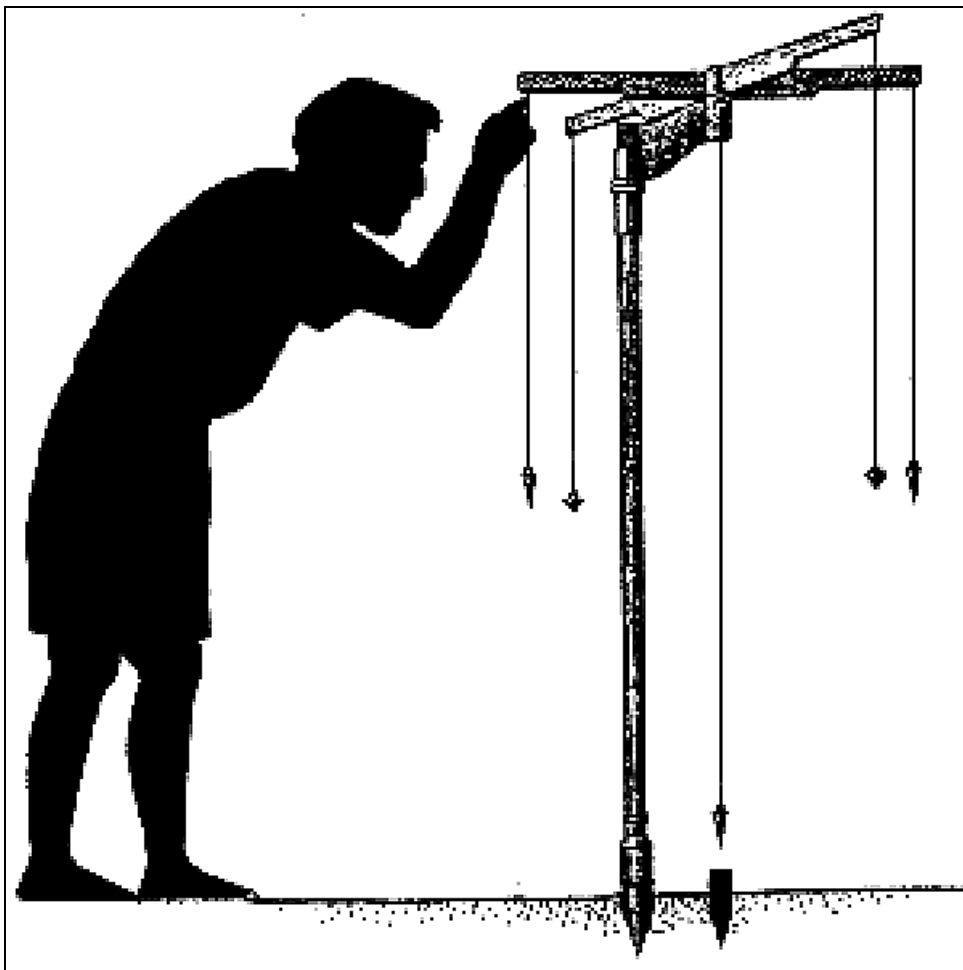


Figura 8: Representação de um homem realizando medições usando o *groma*. Este instrumento de origem romana foi usado tanto para o cadastro das edificações, quanto para a implantação de cidades e, ainda, para a demarcação dos limites entre regiões.

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

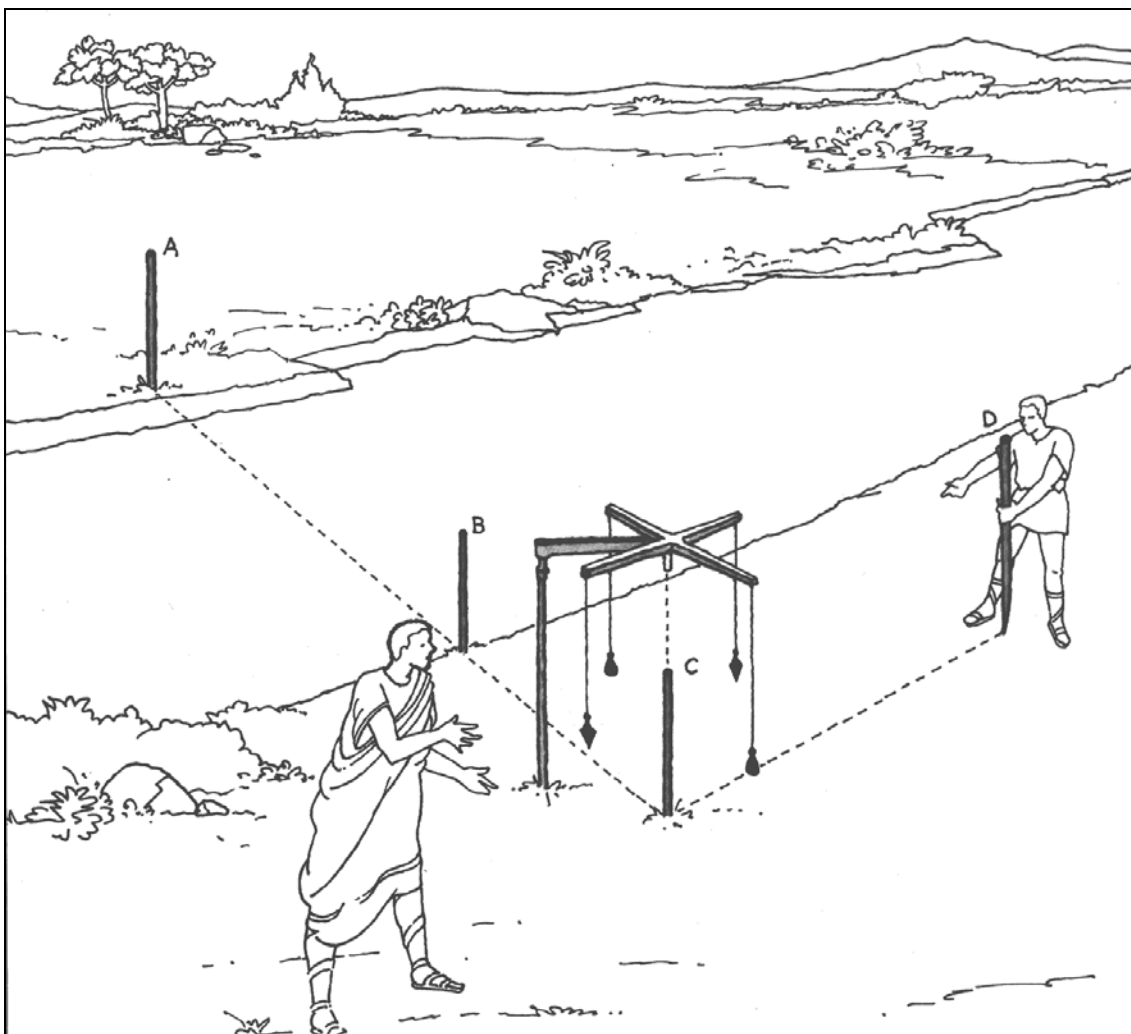


Figura 9: Diagrama descrevendo a utilização do *groma* para a construção de linhas perpendiculares. Provavelmente, o objetivo seria medir a largura de um rio a partir da condição geométrica da semelhança de triângulos.

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

Além do gnômon e do *groma*, outros instrumentos inventados pelos antigos eram utilizados, com pequenos aperfeiçoamentos, nos levantamentos de cidades e edificações até o século XIX. O quadrante é um desses instrumentos, muito utilizado para medir alturas, ângulos e distâncias. É muito provável que tenha começado a ser utilizado pelos navegadores portugueses para orientação no mar logo que começaram as grandes navegações, a partir do século XV. É constituído por um quarto de círculo, em madeira, que num dos lados tem duas pínulas, quer dizer, duas lâminas metálicas, com um furo em seu centro geométrico. No vértice dos dois lados, está preso um fio fino e forte, provavelmente de seda, do qual pende um pêndulo. O arco, ou limbo, que

completa o quadrante, está graduado de 0 a 90° correspondentes ao quarto da circunferência.

As técnicas de investigação e medição dos edifícios e das cidades estiveram, desde as épocas mais remotas, ligadas intimamente à arte de construir esses mesmos edifícios e cidades. O uso da geometria aplicada ao traçado das paredes e fundações é tão antigo quanto a manipulação da madeira, da argila e da pedra como materiais construtivos dos primeiros altares e templos. Vitruvius enfatiza a importância da geometria na construção dos templos, principalmente pelo ensinamento do uso da régua e do compasso, com os quais se descrevem com facilidade as plantas e as elevações dos edifícios. E ainda, a partir desses desenhos, ensina a utilizar o esquadro, o nível e o prumo na edificação das obras. Finalmente, afirma que sem os métodos geométricos a solução de problemas complexos envolvendo a medida de distâncias e o cálculo de áreas seria improvável.<sup>35</sup>

No Renascimento, os estudos das ruínas romanas se intensificam na busca de uma nova identidade arquitetônica para a Itália do século XV, levando os estudiosos da época, como Donatello, Brunelleschi e Alberti a investigar as medidas de todos os detalhes dos edifícios mais importantes anotando, desenhando e analisando suas proporções. Giorgio Vasari<sup>36</sup> (1511-1574) nos relata em seu *Le vite de' più eccellenti pittori, scultori et architetti* (1550), o esforço empreendido por Brunelleschi na sua investigação das ruínas romanas, segundo o qual não restou nada que não fosse medido e desenhado por ele. Em sua pesquisa catalogou todo tipo de construção: templos redondos, retangulares e octogonais, basílicas, aquedutos, banhos, arcos, anfiteatros e o Coliseu. Ele iniciou os trabalhos de medição de cada parte dos edifícios antigos de Roma, separando-as pelas ordens, dórica, jônica e coríntia. Voltando à Florença, Brunelleschi provavelmente utilizou suas observações em Roma para a execução de um

---

<sup>35</sup> VITRUVIUS, 1960, p. 6.

<sup>36</sup> VASARI, Giorgio. **Le vite de' più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri**. A cura di Luciano Bellosi e Aldo Rossi. Torino: Einaudi, 1986.



dos mais importantes eventos da Arquitetura, a construção da cúpula de *Santa Maria dei Fiore*.<sup>37</sup>

Pérez-Gómez examina as aplicações da geometria prática e da aritmética no dimensionamento, no levantamento e nos cálculos necessários à construção de edifícios. Ele acredita que apenas no final do Renascimento, quando o universo teórico dessas ciências torna-se cada vez mais específico, surgem os primeiros textos com o intuito de sistematizar os processos de levantamentos e dimensionamento das edificações.<sup>38</sup> Este autor enumera alguns eruditos como, por exemplo, Leon Battista Alberti (*Ludi Matematici*), Cosimo Bartoli (*Del Modo de Misurare le Distantie*), Silvio Belli (*Libro del misurar com la Vista*) entre outros, que levantaram questões sobre a aplicação da geometria e da aritmética na solução de problemas práticos ligados à construção civil, religiosa e militar. O interesse dos arquitetos se reflete nessas obras que, na visão de Pérez-Gómez, trazem referências de épocas distintas, que começa no século XV. Ao passo que, nos séculos XVI e XVII houve uma produção acentuada de tratados sobre geometria prática, os autores estavam preocupados com o caráter transcendental dos números e das formas geométricas, é apenas no final do século XVII que os tratados sobre geometria aplicada revelam algum interesse pelos problemas construtivos e de estabilidade das edificações. capaz de resolver problemas inerentes à construção dos edifícios. Nessa época o uso da geometria e da matemática adquirem uma importância sem precedentes, tornando-se essencial no sucesso de todo grande projeto.

Pierre Bullet (1639-1716) publicou seu trabalho mais importante, intitulado *Architecture Pratique*, em 1691, tornando-se desde então uma importante referência no uso da matemática para a solução de problemas de levantamento de medidas e determinação de volumes de todo tipo de construção. Nas palavras de Pérez-Gómez, a obra de Bullet representou o “primeiro esforço de ensinar métodos no sentido de estabelecer programas precisos de construção baseados em dados quantitativos, incluindo custos, especificações gerais e detalhadas, e sistemas construtivos”.<sup>39</sup>

---

<sup>37</sup> VASARI, 1986, p. 318.

<sup>38</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 221.

<sup>39</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 225.

É interessante observar que, com raras exceções, desde a Antigüidade até o século XIX, os instrumentos e técnicas de levantamento dos edifícios foram análogas às tecnologias utilizadas na construção das edificações. Na verdade, tais técnicas eram de tal modo reversíveis que durante os trabalhos de investigação poderia ser realizado o procedimento inverso ao traçado da edificação no momento de sua construção. De fato, é apenas com a transformação epistemológica iniciada com a revolução científica de Galileu, ocorrida no final do século XVII, que aparece no horizonte uma nova visão de mundo. Como resultado dessa revolução do conhecimento, a geometria e o número tornaram-se instrumentos para o controle tecnológico do cosmo, que alcança seu ponto máximo no século XIX, como veremos mais à frente.

## 2.5 Leon Battista Alberti

Leon Battista Alberti nasceu no ano de 1404 em Gênova e morreu em Roma, no ano de 1472. É considerado pelos historiadores e críticos um dos mais notórios representantes do Renascimento: arquiteto, escritor, literato, arqueólogo, matemático, teórico de arte, enfim, trata-se de uma figura emblemática do humanista no século XV. Alberti escreveu durante a sua vida diversos textos de caráter filosófico, poético e técnico, sendo que seu nome é associado principalmente aos tratados sobre pintura, escultura e Arquitetura, na ordem que se segue: *De Pictura*, *De Statua* e *De Re Aedificatoria*. Alberti, muito antes de Galileu, traz à tona importantes questões sobre a física prática e sua relação com a filosofia de Aristóteles, bem como sobre a geometria prática e a geometria euclidiana.

O século XV foi um momento decisivo na história do mundo ocidental. O Renascimento foi uma explosão artística e cultural que significou a ampliação dos horizontes do conhecimento como consequência de um novo modo de ver o mundo, centrado no homem e na observação da natureza, principalmente após a redescoberta pelos humanistas italianos dos textos clássicos e das ruínas de Roma. O *De Re Aedificatoria* de Alberti teria sido pensado inicialmente apenas como uma tradução crítica do *De Architectura* de Vitruvius. Entretanto Alberti percebe a dimensão do seu

trabalho e se dedica na sistematização de uma obra à altura do seu tempo. Apesar de utilizar uma estrutura temática similar ao tratado de Vitruvius, o autor não se contenta em sumarizar instruções e anotações correlatas aos diversos aspectos da construção civil, religiosa e militar. Ele pretende, acima de tudo, redigir um texto mais claro e compreensível, adequado ao homem comum de seu tempo. Nas palavras de Brandão,<sup>40</sup> “Vitruvius dirige-se para um arquiteto artesão, enquanto Alberti, sem negar o comprometimento construtivo de seu tratado, dirige-se para o arquiteto intelectual capaz de perspectivar toda a sua atividade numa moldura teórica”.<sup>41</sup>

## 2.6 *Ludi Mathematici*: Matemática Lúdica

Quando de sua passagem por Ferrara em 1438, Alberti se tornou amigo do Marquês Meliaduse D’Este, um homem muito interessado pelas ciências naturais, porém sem condições de praticá-las por sua posição social. Aceitando o pedido do Marquês para que redigisse em sua intenção um texto sobre curiosidades matemáticas, Alberti escreve os *Ludi Mathematici*<sup>42</sup> em latim vulgar entre 1443 e 1448. O texto albertiano nos chega hoje como resultado do empenho de diversos historiadores na análise dos manuscritos ao longo dos séculos. Sabe-se que a primeira edição impressa do texto, com diversas “correções”, foi realizada por Bartoli, no ano de 1568. À parte disso são conhecidas onze versões manuscritas do texto completo ou parte dele, que divergem muito entre si, dificultando assim uma tradução com um texto coerente. A edição utilizada para este estudo é uma tradução para o português realizada em 2006,<sup>43</sup> a

---

<sup>40</sup> BRANDÃO, Carlos Antônio Leite. **Quid tum?: o combate da arte em Leon Battista Alberti**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

<sup>41</sup> BRANDÃO, 2000, p. 86.

<sup>42</sup> Optamos por referir a essa obra usando o termo italiano, por considerá-lo mais coerente com o contexto deste estudo. A datação dessa obra de Alberti tem sido matéria de várias discussões entre historiadores, entretanto existe um consenso entre os autores contemporâneos que indica ser essa a data mais provável.

<sup>43</sup> ALBERTI, Leon Battista. **Matemática Lúdica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006.

partir do texto de Grayson, editada em 1973. Além disso utilizamos também o texto de Vagnetti<sup>44</sup> que analisa outra obra de Alberti, o *Descriptio Urbis Romae*.<sup>45</sup>

Ao descrever nos *Ludi Matematici* métodos de determinar distâncias e realizar levantamentos nas edificações através de medição indireta, Alberti estabelece uma ligação conceitual e funcional com o seu texto mais conhecido, *De Re Aedificatoria*. Logo na dedicatória Alberti nos esclarece o objetivo do texto: “conhecer as coisas bastante lúdicas que aqui encontrareis reunidas, ou até mesmo ao pô-las em prática e delas se servir”.<sup>46</sup> As coisas das quais Alberti fala na verdade são procedimentos práticos para se resolver problemas no campo da Arquitetura, engenharia ou cartografia, segundo métodos expeditos e utilizando instrumentos simples como um prumo, um pedaço de corda ou uma flecha. Qual seria então a essência dos *Ludi Matematici*? A possibilidade de medir utilizando os instrumentos mais elementares, mediante a transposição sistemática de conceitos da geometria para a solução de problemas práticos, grandezas aparentemente inapreensíveis para a época. Do contraste entre a simplicidade das ferramentas utilizadas nas experiências de Alberti e a sofisticação teórica envolvida na solução dos “problemas” propostos é que resulta o entretenimento prometido na dedicatória do texto albertiano.

As soluções empíricas presentes no livro ilustram o que se chamava então de geometria prática que, ao lado da aritmética prática, constituía a autêntica cultura matemática dos homens da ciência e da arte na Idade Média e no Renascimento. De sua leitura dos autores clássicos como Euclides, Arquimedes e Ptolomeu, Alberti aprimorou o seu conhecimento da Ótica, da Álgebra e da Física. Da observação atenta das necessidades de seu tempo ele se esforçou em aplicar tais leis científicas na construção de uma “realidade medida”. Se Vitruvius apresenta em seu texto o uso de geometria aplicada à construção dos edifícios e das cidades, é na obra de Fibonacci que Alberti encontraria as principais referências matemáticas para aprimorar as técnicas de medição e construção de estradas, muralhas, bem como de edificações civis e militares. Os

---

<sup>44</sup> VAGNETTI, Luigi. Lo studio di Roma Negli Scritti Albertiani, In: **Convegno Internazionale Indetto nel V Centenario** di Leon Battista Alberti, Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1974, p. 73-140.

<sup>45</sup> VAGNETTI, 1974, p. 97.

<sup>46</sup> ALBERTI, 2006, p. 40.

ensinamentos e problemas contidos na *Practicae Geometriae*, de Fibonacci misturam aspectos teóricos e práticos da geometria sob a influência da matemática de Euclides, Arquimedes, Columela e Savasorda, e significou uma verdadeira renovação na matemática ocidental até o século XV. Um exemplo da influência desses autores na obra de Alberti é descrito no próprio texto dos *Ludi Matematici*:

Os autores da Antigüidade, em particular Columela, Savasorda e outros agrimensores, e entre os modernos Leonardo de Pisa, estenderam-se bastante sobre esse assunto; são coisas complexas e eruditas, [irei] contudo descrever as mais divertidas e, ao mesmo tempo, as que podem ser mais úteis.<sup>47</sup>

Em Alberti o compasso, a régua, o prumo, o nível, o astrolábio e o esquadro adquirem um novo status, pois estes instrumentos são por ele adaptados para serem utilizados em conjunto, com a finalidade de comprovar suas teorias e propor novas práticas para a documentação e a representação da realidade. Tais métodos eram, nas palavras de Alberti, passíveis de serem aplicados por qualquer homem “dotado de inteligência mediana”<sup>48</sup> que quisesse realizar o levantamento preciso de alguma edificação, ou mesmo de uma cidade. Em seu pequeno livro, Alberti enumera, conceitua e descreve cerca de duas dezenas de técnicas de medição de distâncias com o auxílio de instrumentos elementares, como quando ele sugere a utilização do gnômon, uma haste fixada verticalmente no chão:

Se quiser medir a altura de uma torre situada numa praça apenas olhando-a da outra extremidade, proceda da seguinte maneira. Finque uma flecha no chão, bem verticalmente, se distancie um pouco, seis a oito pés, e dali vise o topo da torre tomando a flecha como mira; coloque uma marca com um pouco de cera no lugar preciso em que seu olhar encontra a flecha, e chamaremos A essa marca de cera.<sup>49</sup>

---

<sup>47</sup> ALBERTI, 2006, p. 48.

<sup>48</sup> VAGNETTI, 1974, p. 112. No original: *mediocri ingenio praeditus*.

<sup>49</sup> ALBERTI, 2006, p. 29.

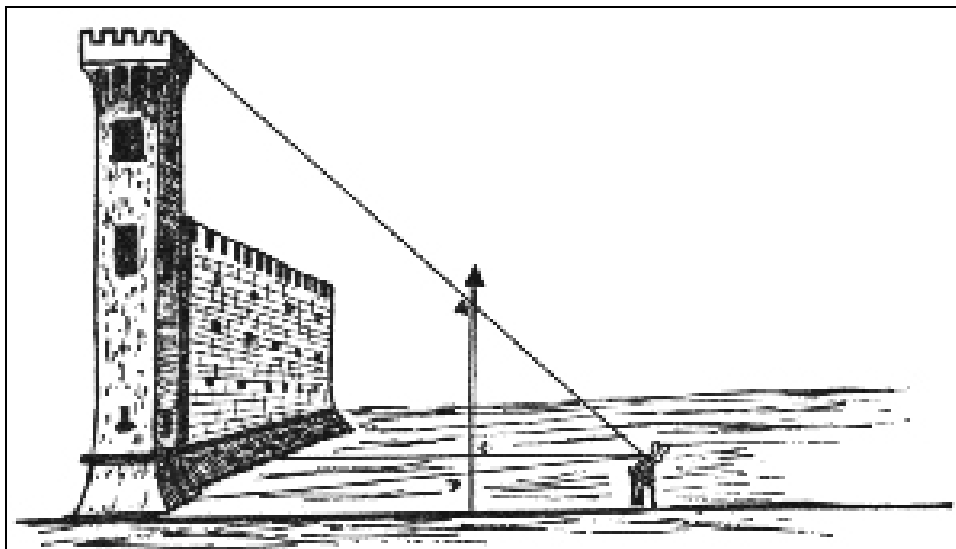


Figura 10: Medindo a altura de uma torre quando se é possível chegar até sua base.

Desde a primeira proposição do livro, percebemos a preocupação de Alberti em tornar claras as operações, sempre exemplificando com números a maior parte delas. Mesmo quando os problemas gradativamente se tornam mais complexos, são quase sempre demonstrados sem ambigüidade, de modo inequívoco. Se existe uma certa abstração em parte do texto quando, por exemplo, se assemelha a algum teorema de difícil compreensão, é nos dado em seguida um comentário adicional, um modelo operacional do problema específico: “... para captar mais claramente e na prática esse procedimento, examinemos isto com um exemplo numérico”.<sup>50</sup> Entre os “entretenimentos” mais interessantes sugeridos por Alberti temos em primeiro lugar aquele que trata de como medir indiretamente a altura dos edifícios, a largura dos rios e a profundidade dos poços, utilizando a semelhança de triângulos presente no teorema de Tales. Também ensina como medir grandes terrenos regulares e irregulares, ao que tudo indica, inspirado nos ensinamentos de Fibonacci sobre o cálculo de setores de circunferências. Além disso, descreve a construção de um nível com um arco, uma flecha e uma linha de prumo, ao que ele dá o nome de *equilibra*, com o qual afirma ser possível medir diversos objetos. Alberti também recorre aos antigos quando relata sobre a história em que Arquimedes soluciona o problema do peso da coroa de Hiêron, ainda que sem nenhuma análise crítica do método utilizado; e ainda, quando descreve sobre a construção de um hodômetro a partir das referências de Vitruvius sobre a medida de

---

<sup>50</sup> ALBERTI, 2006, p. 30.

distâncias percorridas por uma carruagem. Algumas proposições, entretanto, requerem uma observação mais atenta do leitor como quando é apresentado um método para se elaborar um mapa de qualquer cidade, com suas vias, rios, edifícios e marcos geográficos; ou ainda quando se propõe um modo de medir a distância entre dois pontos muito distantes que se possa alcançar com a vista utilizando apenas duas flechas e o teorema da semelhança de triângulos.

O texto de Alberti necessita ser considerado antes de tudo um documento histórico, testemunho de uma transformação no modo de pensar e representar o mundo, mas também um esforço singular no sentido de mostrar a capacidade da matemática, em particular da geometria, de levar a um conhecimento ampliado da realidade utilizando-se de instrumentos elementares e da observação da natureza. Se de um lado os especialistas, filólogos e historiadores se empenham na tentativa de decifrar as lacunas e divergências encontradas nos textos e diagramas dos manuscritos conhecidos,<sup>51</sup> há também a preocupação em analisar os princípios matemáticos que nortearam o trabalho de Alberti e seus reflexos na atualidade. As dificuldades na aplicação prática da maior parte de seus “entretenimentos”, seja pela questão operacional propriamente dita, ou pela falta de precisão nos resultados, não diminui em nada o mérito da obra. O texto dos *Ludi Matematici* nos revela saberes e práticas e, mesmo, conceitos preexistentes à tradição escrita. Alberti sabe que matemática é sustentada por uma teoria muito complexa na qual ainda prevalece a imutabilidade do mundo ideal, mas reconhece também a existência de uma matemática de aplicação prática na realidade construída do mundo e na vida cotidiana do cidadão comum. Esse deslocamento da esfera simbólica e do horizonte mítico para horizonte racional seria o paradigma que Alberti apresentou ao mundo: considerar os desafios técnicos da Arquitetura como problemas a serem resolvidos conjuntamente pela geometria e pela observação constante da realidade.

---

<sup>51</sup> Como ilustração para esse fato indico a leitura dos comentários referentes ao processo proposto por Alberti para “medir a distância de um lugar longínquo que podemos perceber com a vista”, onde a lacuna no manuscrito e a representação gráfica equivocada atrapalham a compreensão do processo.

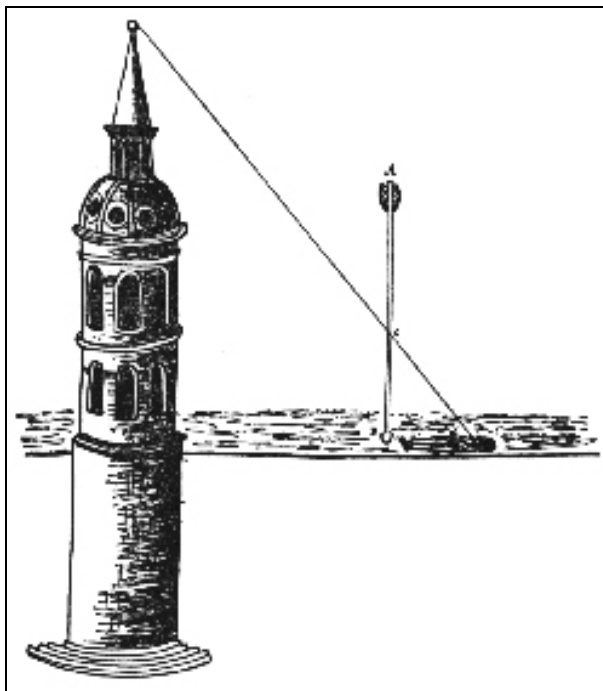


Figura 11: Medindo a altura de uma torre sem conhecer nenhuma de suas medidas.

A título de ilustração, apresento aqui um sumário dos “entretenimentos”:

- Medir com a vista a altura de uma torre
- Medir a largura de um rio
- Medir a altura de uma torre da qual só se consegue avistar o topo
- Medir a profundidade de um poço até o nível da água
- Medir uma grande profundidade de água
- Medir tempos
- Agrimensura e nivelamento
- Medir cargas muito pesadas
- Uma outra utilização do equilibra: ajustar uma bombarda
- Elaborar o mapa de uma cidade ou de uma região
- Medir grandes distâncias
- Arquimedes e a coroa de Hiêron<sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> ALBERTI, 2006, p. 29.



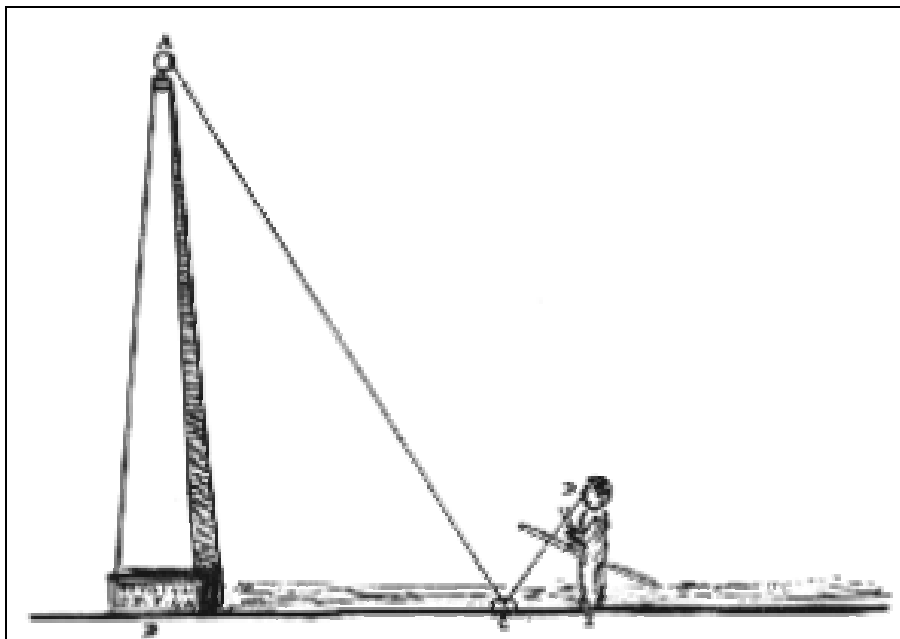


Figura 12: "... pegue-se uma gamela cheia d'água; vai se afastando sempre se voltando para a torre e a gamela, até perceber o topo da torre refletir-se na superfície da água; descobre-se a que distância do olho aos pés cabe na distância do espelho à base da torre"<sup>53</sup>

## 2.7 *Descriptio Urbis Romae*

Num dos escritos menos conhecidos de Alberti, o *Descriptio urbis Romae*,<sup>54</sup> ele se dedica ao desenvolvimento de um método de levantamento por coordenadas polares dos monumentos de Roma. Seu objetivo era traçar uma planta da cidade com o intuito de localizar, com precisão rigorosa, os principais edifícios, as muralhas e a situação do rio *Tevere*. Trata-se de um pequeno texto, no qual o autor descreve os procedimentos para a decodificação dos dados que ele apresenta na forma de tabelas, contendo as informações necessárias para a representação gráfica do mapa de Roma. Elaborada provavelmente entre 1443 e 1455, durante a sua segunda passagem por Roma, acredita-se que essa obra albertiana foi concebida a pedido do papa Niccolò V,

<sup>53</sup> ALBERTI, 2006, p. 32.

<sup>54</sup> ALBERTI, Leon Battista. *Descriptio Urbis Romae*. 2001. **Babel - Textos de Arquitetura e Urbanismo**. Disponível em <[www.eesc.sc.usp.br/babel](http://www.eesc.sc.usp.br/babel)>. Acesso em: 05, maio, 2006.

um humanista erudito interessado na restauração urbanística e arquitetônica de Roma.<sup>55</sup> O primeiro parágrafo do texto merece ser citado na íntegra por tratar-se de uma síntese do *Descriptio*, evidenciando o interesse de Alberti numa abordagem da cidade enquanto conjunto urbano, além de demonstrar o rigor científico do seu trabalho:

Tracei com a máxima precisão, servindo-me de meios matemáticos, o percurso e o desenho das muralhas, do rio e das vias e, além disso, os lugares e a posição dos templos, das obras públicas, das portas e dos monumentos comemorativos, a delimitação das alturas, e ainda a superfície ocupada para fim de habitação na cidade de Roma, assim como são conhecidos em nossos dias. Idealizei, além disso, um método, por meio do qual qualquer um que seja dotado de inteligência mediana estará apto a representar graficamente as coisas supra ditas, no modo mais adequado e conveniente, sobre uma superfície grande a gosto. Fui conduzido a isto por amigos doutos, a cujas vontades reputei oportuno consentir.<sup>56</sup>

Tendo sido encarregado das obras de restauração dos monumentos antigos de Roma, Alberti se viu diante de uma tarefa primordial: levantar através de um mapa preciso grande quantidade de edificações e ruínas remanescentes do antigo império romano. Ao mesmo tempo em que mantém o “olhar distanciado e esteta”, buscando nos edifícios antigos o brilho e a glória dos séculos que os edificaram, o arquiteto também procura apreender a cidade e a arquitetura romana como modelos de beleza, que ele próprio procura representar em termos matemáticos. Profundamente interessado pelas expressões artísticas e técnicas dos antigos, é natural que Alberti tenha se impressionado pela *Geografia*<sup>57</sup> de Ptolomeu, bem como pelas referências existentes sobre as cidades nos textos clássicos. Como afirma Vagnetti, o texto albertiano constitui uma notável contribuição à história da cartografia romana, introduzindo inovações teóricas e

---

<sup>55</sup> VAGNETTI, 1974, p. 77. Existem várias divergências sobre a datação precisa de tal obra, mas é provável, pela estreita relação com o *Ludi Matematici*, escrita entre 1443 e 1448, que o *Descriptio* tenha sido escrita entre 1443 e 1455.

<sup>56</sup> ALBERTI, 2001, p. 1.

<sup>57</sup> O texto da *Geografia* de Ptolomeu foi traduzido para o latim em 1406-09 por Jacopo Angeli da Scarperia e dedicado aos papas Gregório XII e Alexandre V.

operacionais no estudo da cidade. De fato, desde a *Forma Urbis Romae*<sup>58</sup> até a planta de 1551 de Leonardo Bufalini, Roma não possuiu nenhuma planta a partir de um levantamento cartográfico, mas apenas representações de caráter pictórico.

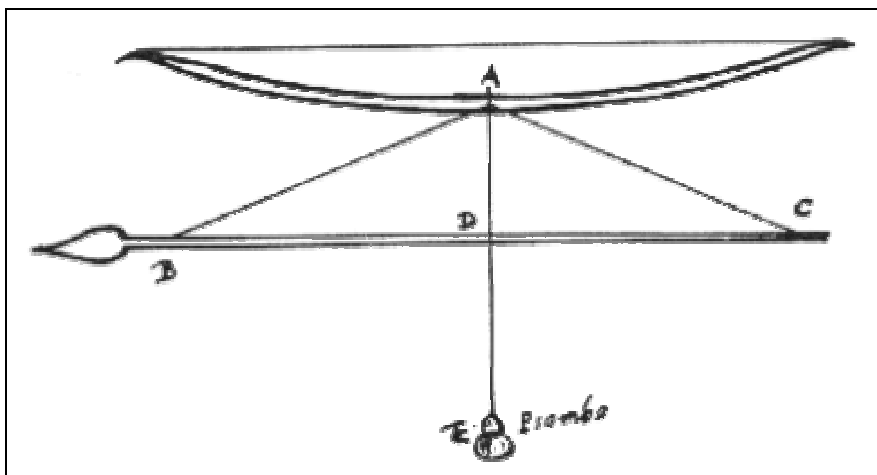


Figura 13: Esquema gráfico do *Equilibra*, de Alberti.

O método proposto tem como base um instrumento que é construído do seguinte modo: uma placa circular, que Alberti denomina *horizonte*, é subdividida em 48 graus angulares de 4 minutos cada, ao que se adiciona um elemento móvel de pouca espessura, feito de metal ou madeira, desde o centro até a borda do *horizonte*. Este *raio* deve ser dividido em 50 partes iguais, também com subdivisões de 4 minutos cada. Construído dessa maneira, a escala da planta é deliberadamente deixada ao juízo do desenhista, no momento em que arbitrar o diâmetro da coroa circular. O texto da *Descriptio* apenas esclarece que para “cada um dos graus do desenho corresponderá em proporção a um certo número de pés”.<sup>59</sup> É interessante notar o emprego do palmo, do pé, do cúbito e do stadio, ou seja, unidades de medida usadas na antigüidade clássica, como padrões tanto no *Descriptio Urbis Romae* quanto nos *Ludi Mathematici*. É evidente que o autor, por sua formação de humanista, tinha interesse em ajustar as unidades de medida aos elementos da cidade a que se referem, no caso da Roma antiga as unidades

<sup>58</sup> Trata-se de um mapa de Roma medindo 18,0m de largura por 13,5m de altura, representado sobre uma placa de mármore, durante o governo do imperador Septimius Severus (em torno do ano 200). É provavelmente o mais antigo documento topográfico de Roma. O mapa se encontra hoje incompleto e dividido em 1186 fragmentos, sendo objeto de diversos estudos por parte de arqueólogos, arquitetos e urbanistas.

<sup>59</sup> ALBERTI, 2001, p. 3.

do sistema greco-romano. Além disso, essa abordagem de Alberti, de medir um determinado objeto utilizando o mesmo sistema métrico utilizado em sua construção, justifica-se pela possibilidade de confirmar, através dos levantamentos diretos ou indiretos, os textos dos antigos que descreviam as estruturas romanas. O cúbito corresponderia hoje a 444mm e o stadio seria igual a 185,25m, ou seja, 625 pés. Assim, de acordo com Alberti, a distância máxima das portas romanas a partir do Capitólio seria de aproximadamente 2.727m., e o circuito das muralhas alcançaria 13.320m., o que segundo Vagnetti seriam medidas conciliáveis entre si e consideravelmente próximas à realidade, já que na verdade as muralhas desenvolvem-se por cerca de 19.000m.

Alberti não foi muito elucidativo sobre o método de levantamento das edificações, ou sobre a construção das tabelas de dados. Pelo contrário, ele se dedica especialmente em esclarecer o procedimento para a representação gráfica dos pontos anotados do que se debruçar sobre a técnica de medir. Isso pode ser explicado pela notória complementaridade entre os dois textos em análise, discutida exaustivamente por Vagnetti e Grayson. Enquanto no primeiro livro, o *Ludi matematici*, Alberti apresenta um método para o levantamento topográfico dos edifícios e da cidade, é no segundo texto, o *Descriptio*, que se estrutura a metodologia da representação gráfica dos resultados, a partir do sistema de coordenadas polares, onde os pontos de interesse da cidade são anotados de acordo com sua orientação no processo de medição:

Quando quiser elaborar seu mapa, coloque esse instrumento em lugar plano e elevado de onde perceba vários locais da cidade em questão, como campanários, torres e outras coisas do gênero. Tenha à mão um fio de chumbo, se afaste cerca de dois côvados do instrumento e vise uma após outra as coisas perceptíveis de modo que seu olhar encontre ao mesmo tempo o fio de chumbo, o centro do círculo e a torre que está visando.<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> ALBERTI, 2006, p. 62.

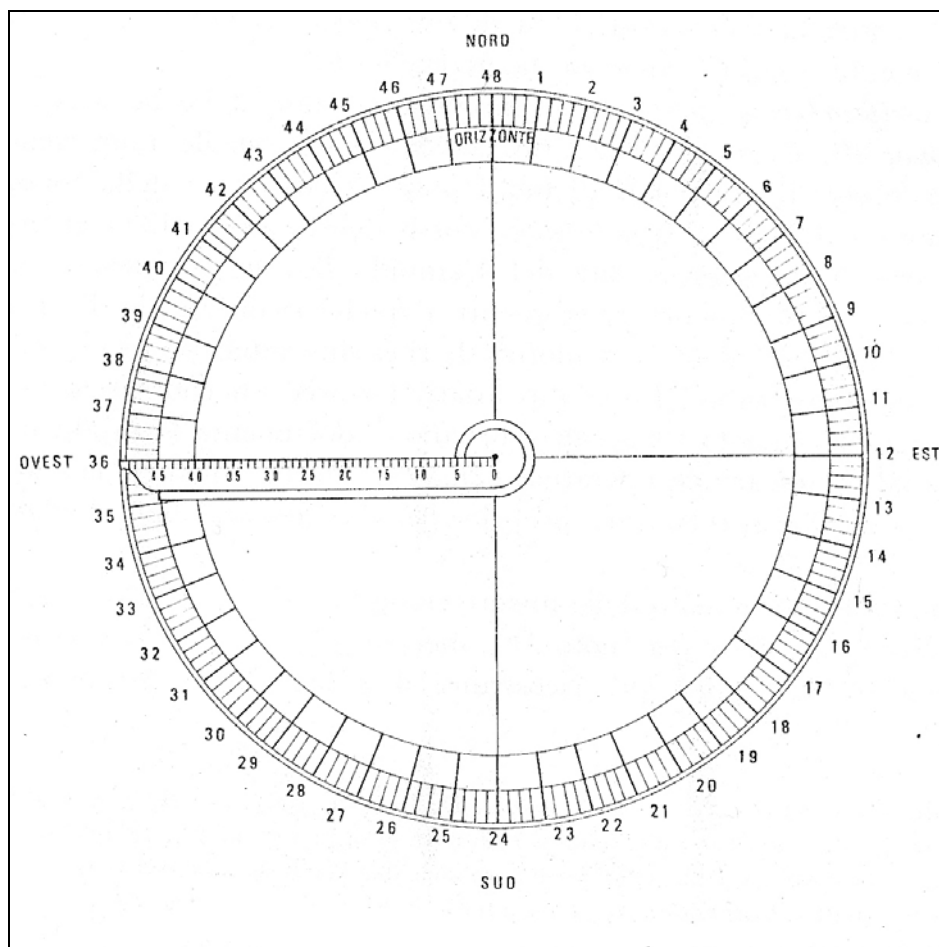


Figura 14: O *horizonte*, instrumento utilizado por Alberti durante o levantamento dos principais monumentos de Roma.

Fonte: Luigi Vagnetti, *Lo studio di Roma Negli Scritti Albertiani*.

Como podemos comprovar em Vagnetti, Alberti obtém em seu levantamento uma precisão superior a qualquer mapa elaborado até então, sendo alcançado apenas com o mapa de Roma elaborado por Leonardo Bufalini em 1551, quase um século depois. Fixada a posição do horizonte sobre a folha de papel torna-se extremamente fácil reencontrar os pontos indicados das coordenadas polares que Alberti fornece, e construir então, com grande exatidão, o gráfico. A descrição apresentada por Alberti em seu texto é claríssima, de modo que o gráfico que se obtém seguindo seu método pode ser unicamente uma planta geométrica, um mapa de Roma. Numa época em que praticamente todas as representações das cidades eram construídas na forma de perspectivas, Alberti concebe um método para o levantamento de informações que

resultam em um mapa cartográfico, descrevendo a cidade a partir de elementos geométricos inseridos num sistema de coordenadas.

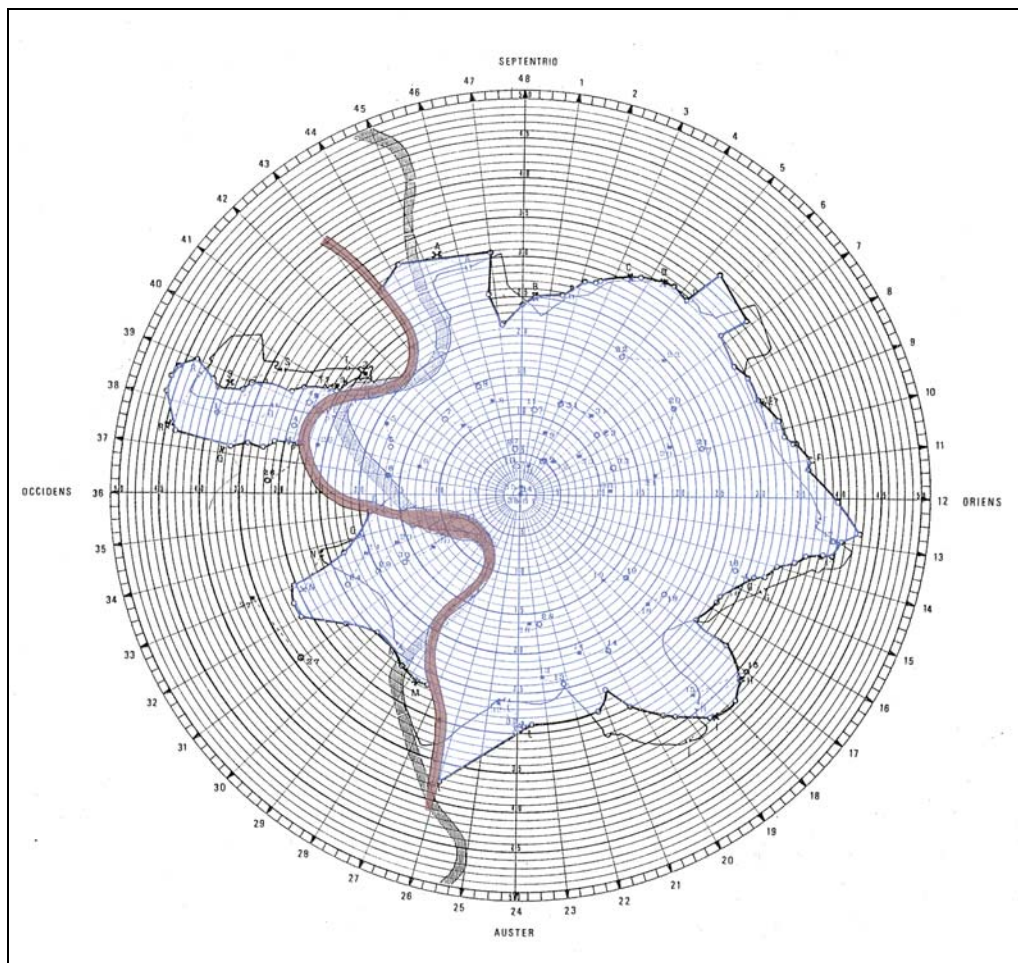


Figura 15: Comparação dos pontos indicados no *Descriptio Urbis Romae*, sobrepostos aos pontos indicados por Vagnetti a partir de dados cartográficos atualizados de Roma.

Fonte: Luigi Vagnetti, *Lo studio di Roma Negli Scritti Albertiani*.

## 2.8 A Descoberta da Geometria Descritiva

Segundo Chasles, foi Platão quem introduziu na geometria o método analítico, as seções cônicas e a doutrina do espaço geométrico.<sup>61</sup> A análise, a partir do conceito cunhado pelos gregos, poderia ser definida como a ação de observar atentamente um dado objeto do modo como é apresentado, avançando gradativamente, passo a passo, até que se estabeleça como verdadeiro o objeto revelado. Antes dos gregos, os povos antigos utilizavam um método diferente para solução de problemas matemáticos e geométricos, no qual cada enigma tinha sua respectiva solução dada *a priori*, apresentada sob a forma de instruções, como uma receita médica. Existiam, assim, modelos, ou exemplos típicos, que asseguravam o sucesso das soluções de problemas práticos, sem nenhuma demonstração teórica, como era o caso das seqüências de proposições ordenadas, nas quais os matemáticos gregos demonstravam todo o processo matemático empregado para a solução de determinado problema.

A geometria analítica é inventada simultaneamente por Descartes e por Fermat em torno de 1635. A introdução dos métodos algébricos na geometria encontra sua origem nas reflexões metodológicas sobre a matemática grega. A união entre a álgebra e a geometria beneficia as duas disciplinas. A álgebra é transformada a fim permitir a manipulação das expressões que compreendem os tamanhos dos sistemas simbólicos, uma tarefa mais geral do que o simples estudo dos processos para solução de equações numéricas. De modo que a álgebra possa fazer sua parte da ferramenta universal, é também aconselhável desenvolver uma teoria geral das equações. Agora, na geometria os problemas essenciais e construtivos podem ser tratados de um modo mais sistemático, graças à álgebra. A álgebra também permite uma organização melhor do conhecimento geométrico: a presença da mesma equação em dois problemas diferentes sugere uma ligação oculta, onde uma curva pode ser classificada mais simples ou mais complexa simplesmente examinando o grau das equações que as definem.

A descoberta da ligação entre curvas no plano e equações com duas variáveis é importante por duas razões. Em primeiro lugar, as equações contêm um conjunto de

---

<sup>61</sup> CHASLES, 1989, p. 7.

informações sobre as curvas: elas não somente descrevem a posição dos pontos da curvas, mas nos levam também a determinar as tangentes, a convexidade, etc. Descartes e Fermat estão cientes disso, pois cada um deles desenvolve um método para determinar as tangentes com uma curva que parte de sua equação. A segunda razão é que, graças às equações, se tornam possíveis os estudos e pesquisas sobre novas representações geométricas. O estudo destas curvas alimentará a reflexão dos matemáticos nos anos 1640-1680, assim acompanhando a criação pelo cálculo infinitesimal.

Nos seus estudos, Gérard Desargues (1593-1662) ultrapassou a visão de uma geometria puramente transcendental e subjugou o poder simbólico das operações geométricas na busca por um método científico universal. Nesse sentido, o determinismo tecnológico que dominava o pensamento científico no século XIX não deixava margem para especulações metafísicas. O novo modelo científico era agora compartimentado em diversas áreas do conhecimento, cada qual com a sua autonomia histórica, considerada como um desenvolvimento linear de experiências positivas, que excluem qualquer tipo de falha ou especulação irrelevante.<sup>62</sup>

Nesse contexto surge um novo tipo de intelectual, o técnico especialista que, a partir da Revolução Francesa, tem influenciado definitivamente a cultura ocidental durante os últimos dois séculos. As principais características desse novo cientista são a sua fé inabalável na razão matemática e o desligamento quase total em relação à história da sociedade e sua cultura em proveito de uma história das técnicas. Enfim, para o técnico especialista qualquer faceta da cidade eminentemente sociológica seria ignorada, por seu conteúdo supostamente ambíguo, improvável de ser formulado matematicamente. De acordo com Pérez-Gómez, os “mais ilustres nomes de todos os campos científicos do século XIX na França seguem esse pensamento positivista: Lagrange, Laplace, Monge, Fourier, Prony e, é claro, Jacques-Nicholas-Louis Durand<sup>63</sup>

---

<sup>62</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 277.

<sup>63</sup> O *Précis des Leçons d'Architecture* de Durand representou a transformação definitiva da Arquitetura em disciplina autônoma, auto-suficiente e especializada, composta exclusivamente de conceitos evidentes à razão matemática, contrastando com a concepção simbólica e transcendental defendida na mesma época por outros autores, como o abade Marc-Antoine Laugier, que defendia no seu texto, *Essay sur l'Architecture*, de 1753, as origens primitivas das edificações a partir da ilustração da cabana primitiva.



nas disciplinas de desenho e teoria arquitetônica”.<sup>64</sup> Todos esses ilustres personagens da história da ciência estão ligados diretamente a *École Polytechnique* e seu novo projeto pedagógico, no qual a Arquitetura ficaria relegada à condição de coadjuvante, ao lado de disciplinas consideradas mais científicas, comprometidas com o projeto e a estabilidade das edificações como, por exemplo, a engenharia civil. A Arquitetura seria responsável, dentro dessa nova lógica do pensamento científico, pela “decoreção” dos edifícios, ou seja, um ato considerado frívolo e oneroso, carregado do caráter especulativo que era desencorajado naquele contexto epistemológico.

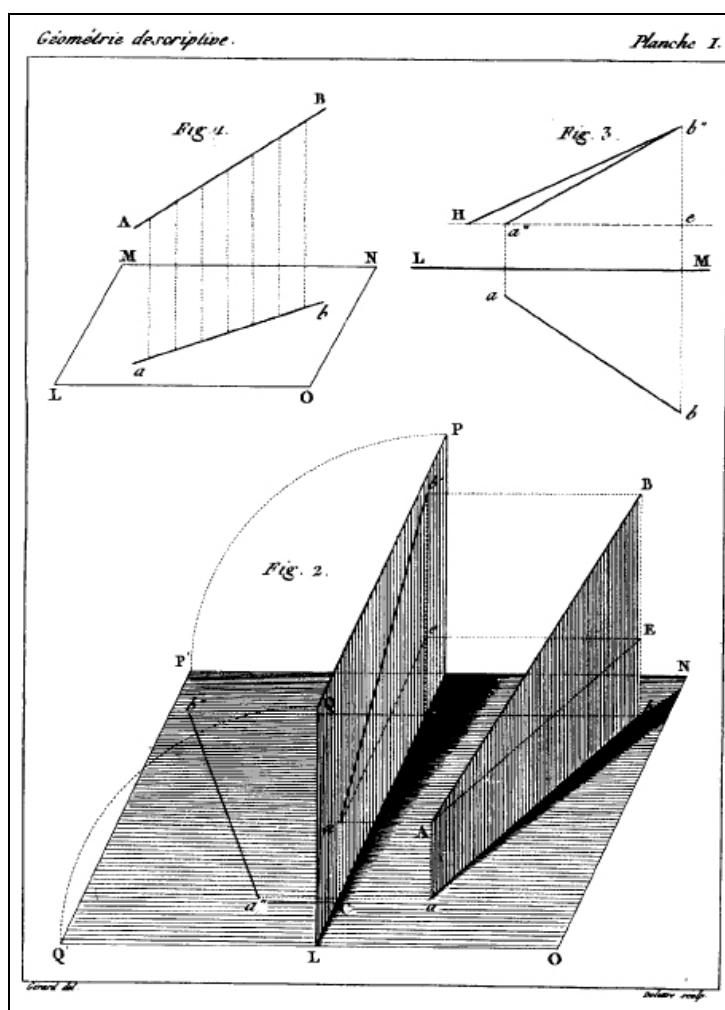


Figura 16: Prancha 01 da Geometria Descritiva, de Gaspard Monge, representando a projeção, na folha bidimensional, de retas localizadas no espaço tridimensional.

Fonte: Monge, Gaspard. *Géométrie Descriptive*.

<sup>64</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 277.

Foi Gaspard Monge<sup>65</sup> quem retornou aos mesmos conceitos de Desargues com maior precisão e abriu caminho, assim, para a definitiva transformação da geometria euclidiana no seu equivalente algébrico. No seu livro *Géométrie Descriptive* (1795), é apresentada pela primeira vez a possibilidade da “descrição matemática efetiva e precisa da realidade” e, desde então, tornou-se essencial no ensino de geometria das escolas politécnicas.

A originalidade do trabalho de Monge não se encontra no uso de projeções geométricas, pois estas já eram utilizadas com finalidades específicas na Arquitetura e na Engenharia, seja na perspectiva linear, ou na estereotomia, quer dizer, no corte das pedras utilizadas nas construções. O avanço da sua teoria está em transformar a geometria descritiva numa verdadeira ciência, capaz de um funcionamento abstrato aplicável, assim, a uma grande variedade de problemas. Com exceção de Desargues, que elabora uma estrutura ainda muito teórica e abstrata, Monge foi o primeiro cientista a definir um sistema que poderia ser universalmente aplicado a todo e qualquer tipo de produção humana no campo da arte e da técnica.

O que seria, então, a geometria descritiva? Qual é seu objetivo? O próprio autor nos fala na introdução de sua *Géométrie Descriptive*:

A geometria descritiva tem dois objetivos: o primeiro, de fornecer os métodos para representar sobre uma folha de desenho com duas dimensões, a saber, largura e comprimento, todos os corpos da natureza existentes em três, comprimento, largura e profundidade, com a condição de que estes corpos possam ser definidos rigorosamente no espaço. O segundo, é o de levar a se conhecer depois uma descrição exata da forma dos corpos e, então, deduzir todas as verdades que resultam da sua forma e da sua respectiva posição no espaço.<sup>66</sup>

---

<sup>65</sup> MONGE, Gaspard. **Géométrie Descriptive**. Sceaux: Éditions Jacques Gabay. 1989.

<sup>66</sup> MONGE, 1989, p. 5. La géométrie descriptive a deux objets: le premier, de donner les méthodes pour représenter sur une feuille de dessin qui n'a que deux dimensions, savoir, longueur et largeur, tout les corps de la nature, qui en ont trois, longueur, largeur et profond, pourvu néanmoins que ces corps puissent être définis rigoureusement. Le second objet est de donner la manière de reconnoître d'après une description exacte les forms des corps, et d'en déduire tout les verités qui résultent et de leur forme et de leurs positions respectives.

Monge sublinha logo na apresentação de seu texto sua visão do papel da ciência: para tornar a indústria nacional competitiva é necessário atualizar a educação nacional através da geometria descritiva, pois essa nova disciplina possibilitaria o conhecimento dos objetos que exigem a “exatidão”, a qual era totalmente negligenciada naquele tempo. Para Monge, o estudo minucioso e a descrição precisa das máquinas e dos objetos atuais seria a condição necessária para utilizar a força da natureza em prol da consolidação de uma “potência nacional”. Conhecimento e precisão já não eram conceitos novos no fim do século XVIII, graças a Galileu e Descartes, que delinearão o caminho para uma contínua matematização da natureza. No entanto, nas palavras de Pérez-Gómez, a geometria de Monge “desempenhou um papel determinante na gênese e no desenvolvimento do industrialismo e da construção racional durante o século XIX”<sup>67</sup>. Ainda, de acordo com Chasles, a geometria descritiva significou um avanço sem precedentes no pensamento racionalista, pois era “a disciplina mais apropriada a fortalecer e desenvolver a capacidade de concepção, a dotar o julgamento de justiça e de segurança, a linguagem de precisão e de clareza e foi, sob todos os aspectos, infinitamente útil às ciências matemáticas em geral”.<sup>68</sup> De fato, Chasles considerava a invenção de Monge uma verdadeira teoria geral das coisas, tendo reduzido a um pequeno número de princípios abstratos e invariáveis todas as operações geométricas imprescindíveis à execução da carpintaria, do corte de pedras, da perspectiva, das fortificações e da gnomônica, por exemplo. Em oposição à incerteza e incoerência dos procedimentos anteriores ao surgimento de sua teoria, o que Monge apresenta são operações geométricas relativamente simples, porém rigorosas, apropriadas às demandas do seu tempo.

Dentro desse novo contexto das ciências exatas, ou seja, uma conjuntura positivista e tecnicista, a geometria descritiva poderia tornar-se uma nova linguagem a serviço da técnica, possibilitando ao projetista e ao artesão manter uma comunicação de idéias altamente eficiente e exato, através da representação. Além disso, a partir de sua exclusiva capacidade de dedução dos corpos tridimensionais, e sua conseqüente tradução em relações matemáticas, seria possível gerar novos modelos operativos na

---

<sup>67</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 282.

<sup>68</sup> CHASLES, 1989, p. 189.

indústria. Numa época de crescimento industrial esse novo paradigma torna-se a chave para os novos engenheiros e técnicos especialistas, preparados para se chegar à “verdade” dos objetos, desvendada até o momento apenas pelos grandes pintores e escultores que dominavam a perspectiva.

O princípio de resolução de problemas através da álgebra implica no uso de um mecanismo de transformações que conduz a generalizações no mais alto grau possível. Esse é, segundo Chasles, o procedimento que levaria os pesquisadores, através da análise constante, à verdadeira ciência. Desse modo, o grande mérito de Monge foi o de introduzir na geometria pura transformações análogas, quer dizer, aplicando diretamente sobre as figuras no plano e sobre suas propriedades intrínsecas formulações algébricas, evidenciando, assim, um princípio de continuidade entre o objeto real e a sua projeção no plano.<sup>69</sup>

A influência de sua teoria nos estudos realizados ao longo do século XIX é expressiva entre os novos cientistas. O general Jean-Victor Poncelet, ex-aluno de Monge, foi um dos principais estudiosos que aprofundaram os estudos sobre o “princípio de continuidade”, tendo escrito em 1822 um tratado sobre geometria projetiva.<sup>70</sup> Poncelet seguiu passos do mestre como teórico, chegando mesmo a superá-lo em pelo menos um ponto de sua principal teoria: na aplicação das “propriedades projetivas”, aquelas que permanecem constantes antes e após uma projeção, objetivando analisar as relações entre os objetos no espaço tridimensional e os planos bidimensionais. Após deixar a *École Polytechnique*, Poncelet publicou em 1822 o *Traité des Propriétés Projectives des Figures*, uma obra que foi essencial para a engenharia mecânica a partir do século XIX. Sua intenção era levar a teoria matemática a ser tão generalista, que submetesse seu domínio de ação ao controle do intelecto, quer dizer, sem nenhum espaço para imprevisibilidade, onde um número reduzido de lemas poderia representar um grande número de casos particulares. Como demonstra Pérez-Gómez, Poncelet vislumbrava prover a geometria euclidiana com o caráter de extensão que fez a álgebra tão fecunda, o que implicou na transformação da geometria num sistema sintático independente, que não necessitava de uma contextualização no mundo.

---

<sup>69</sup> CHASLES, 1989, p. 196.

<sup>70</sup> CHASLES, 1989, p. 199.

Prescindindo de qualquer traço de imaginação e alcançando uma coerência lógica perfeita, a geometria projetiva tornou-se o modelo ideal para aplicações tecnológicas, tanto na resolução de problemas relativos à estática e resistência dos materiais, quanto aos problemas relativos ao projeto das edificações.<sup>71</sup>

Os trabalhos de Monge e Poncelet representam o ápice do pensamento positivista ao colaborar, por assim dizer, para a universalização da geometria descritiva e dos métodos matemáticos para a solução dos mais diversos problemas da sociedade a partir do século XIX. Numa velocidade cada vez mais acelerada, as novas tecnologias foram substituindo as técnicas tradicionais e reduzindo, assim, a mínima chance de alguma interferência poética, ou mesmo romântica, na sociedade industrial, tal como ocorreu no século XVIII.

---

<sup>71</sup> PÉREZ-GÓMEZ, 1988, p. 285.

### 3 DA CÂMARA OBSCURA À FOTOGRAMETRIA

#### 3.1 A Câmara Obscura

*Não é a imagem que me interessa, mas o processo de sua fabricação.*

Nam June Paik

O princípio de funcionamento de um dos primeiros processos de criação de imagens por projeção é conhecido pelo homem há séculos. Sabe-se que Aristóteles observou a imagem do sol em um eclipse parcial, projetando-se em forma de meia-lua ao passar seus raios através de um pequeno orifício na folha de uma árvore. Fato ou lenda, se transformou numa das primeiras especulações sobre a natureza do fenômeno da produção de uma imagem por projeção da luz. Alhazen<sup>72</sup> (965-1039) foi quem primeiro realizou experiências com a câmara obscura, como parte de sua extensa pesquisa no campo da ótica. Entre seu trabalhos e textos que chegaram até nós principalmente pelas mãos de Vitellius (1230-1275), um erudito polonês dedicado ao estudo da câmara obscura, podemos citar *Kitāb al-Manāzir*, ou *O Livro sobre Ótica*. No livro ele descreve as experiências que realizou sobre a refração em diversos materiais, sobre a dispersão da luz branca em suas cores constituintes, vários outros fenômenos físicos como sombras, eclipses e a natureza física da luz.

Nas palavras de Couchot<sup>73</sup>, a evolução das técnicas de figuração indica, desde o *Quattrocento*, uma investigação quase obsessiva que visa automatizar cada vez mais os processos de criação e reprodução da imagem, sendo que é Alberti quem escreve pela primeira vez sobre a utilização de um instrumento auxiliar no traçado da perspectiva, no seu tratado *Da Pintura*. Na verdade, o que se entende por câmara obscura é um conceito a partir de uma das propriedades físicas da luz: a refração. Imagine uma caixa

---

<sup>72</sup> Abu Alih Hasan Ibn Al-Haithan, conhecido no Ocidente como Alhazen, realizou experimentos utilizando a câmara obscura que foram muito úteis na definição da relação entre a dimensão do furo e a nitidez da imagem projetada na face interna da câmara oposta ao furo. Para mais detalhes, ver: RONCHI.

<sup>73</sup> COUCHOT, Edmond. Da representação à simulação: evolução das técnicas e das artes da figuração. In: PARENTE, A. **Imagem Máquina: A Era das Tecnologias do Virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 2004.

totalmente fechada com um pequeno furo em uma de suas faces. Os feixes de raios luminosos projetam, ao passar por esse orifício, uma imagem espelhada e invertida verticalmente na parede oposta da câmara. Na prática as câmaras obscuras apenas se difundiram a partir do século XVI, quando houve avanços consideráveis tanto na construção dos componentes, quanto na técnica de produção de lentes.

Gimbatista Della Porta (1535-1615), na sua obra *Magia Naturalis*, publicada em 1558, foi quem primeiro se dedicou ao estudo do funcionamento e à construção de inúmeros modelos de câmaras obscuras, recomendando o seu uso não somente para a pintura, mas também para o desenho técnico. Della Porta foi por muito tempo considerado o inventor da câmara obscura, quando foi, na verdade, seu maior defensor, através da difusão de sua obra no continente europeu. Ainda assim, mesmo no auge de seu desenvolvimento técnico, a câmara obscura era vista como uma caixa mágica pela maioria das pessoas, sendo seu operador considerado uma espécie de ilusionista.

Johannes Kepler (1571-1630), publicou *Paraliponema ad Vitellionem* em 1604, revolucionando o conhecimento sobre a ciência ótica ao estudar o mecanismo da visão e o conceito de imagem ótica.<sup>74</sup> Ele também foi o primeiro a realizar o mapeamento de um território utilizando uma versão aprimorada da câmara obscura: a câmara ótica. Em torno de 1620, Kepler construiu uma câmara obscura móvel, com a qual realizou desenhos topográficos da Áustria como matemático imperial. Tratava-se de uma pequena tenda de campanha, cônica e negra, com um dispositivo giratório, um periscópio, no seu vértice, contendo uma lente biconvexa e um espelho inclinado para projetar as imagens numa mesa horizontal.<sup>75</sup>

---

<sup>74</sup> RONCHI, Vasco. Optics and Vision. **Dictionary of the History of Ideas**. Disponível em: <<http://etext.virginia.edu/DicHist/dict.html>>. Acesso em: 12 jan. 2006.

<sup>75</sup> THOMPSON, Morris M. Foundations of Photogrammetry. In: SLAMA, C. (org.) **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry. 1980. p. 1-36.

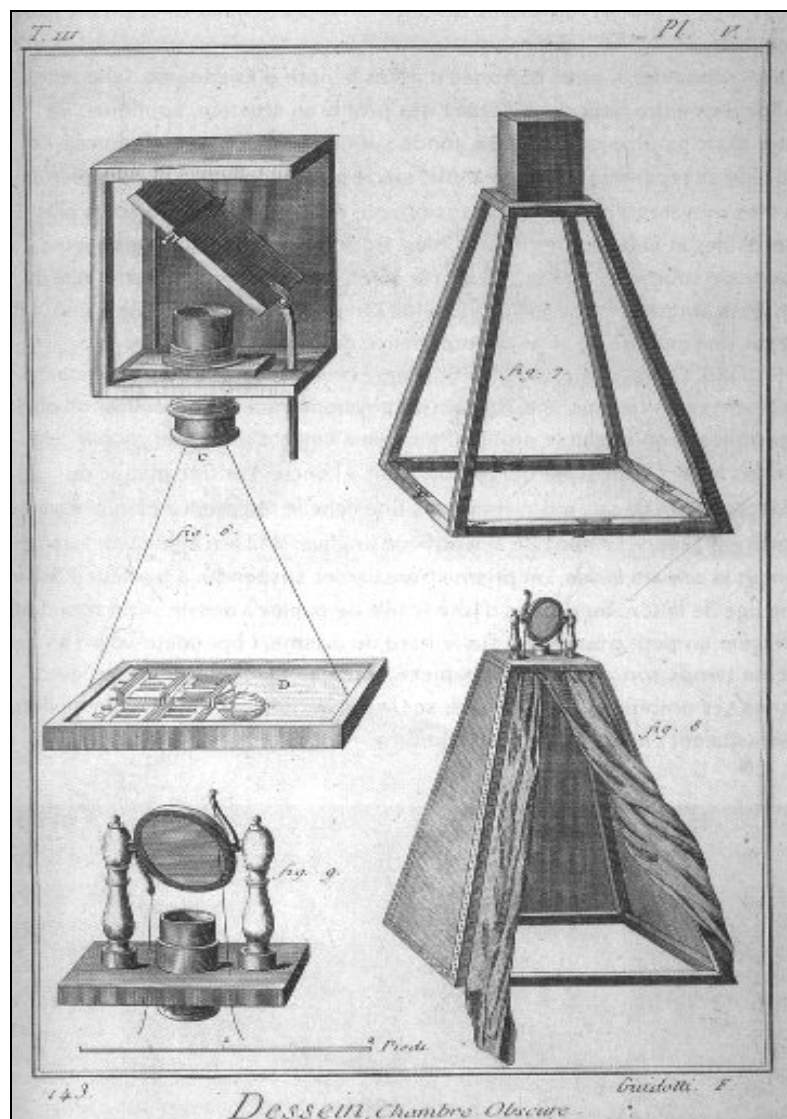


Figura 17: Câmara obscura, conforme representação da *Encyclopaedia* de Diderot.

Tânia Regina Silva da Silva<sup>76</sup> afirma que a câmara obscura constitui o mais novo paradigma para a observação do mundo a partir do século XV. A câmara obscura foi muito mais do que um simples dispositivo projetivo a auxiliar os artistas na elaboração de perspectivas, constituindo-se numa "metáfora filosófica", que emergiu do discurso de cientistas como Locke, Decartes, Newton e Leibniz, caracterizando um novo tipo de observador e determinando uma maneira específica de observar o mundo

<sup>76</sup> SILVA, Tânia Regina Fraga da. **Simulações Estereoscópicas Interativas**. PUC, São Paulo. Tese de Doutorado em Comunicação e Semiótica, 1995.



exterior: “como um observador que via o mundo a partir de um recorte projetado sobre uma tela”.<sup>77</sup>

Finalmente, o advento da câmara obscura possibilitou ao homem obter uma visão monocular e recortada do mundo, onde o campo de visão consistia numa tela, no interior da câmara, onde o mundo externo era projetado. Agora era o cientista e não apenas o artista que, sustentado por uma idéia de mundo pelo viés da câmara obscura, encontrava-se separado da realidade observada. Esse novo modo de observação abriu caminho para enormes conquistas científicas, principalmente quando, no século XIX, à imagem projetada foram adicionados elementos teóricos da geometria projetiva no levantamento topográfico e na construção das cidades.

### 3.2 Sobre a fotografia

*A foto é literalmente uma emanção do referente.*

Roland Barthes

Em 19 de agosto de 1839, quando o Estado francês, por proposta do deputado François Arago, compra de Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) a patente do daguerreótipo e a coloca gratuita e democraticamente à disposição de quem se interessasse, a sociedade ocidental se viu diante de novo horizonte de possibilidades. Boris Kossoy,<sup>78</sup> em seu livro sobre a vida e a obra de Hercule Florence, reproduz um trecho do discurso de Arago:

... na câmara de Daguerre a luz por si só reproduz as formas e proporções dos objetos externos a ela, com uma precisão quase matemática: a relação fotométrica das diferentes partes brancas, pretas e cinzas é preservada

---

<sup>77</sup> FRAGA, 1995, p. 125.

<sup>78</sup> KOSSOY, Boris. **Hércules Florence**: 1833, a descoberta isolada da fotografia no Brasil. São Paulo: Ed. Duas Cidades. 1980.

exatamente, porém os meios-tons representam vermelho, amarelo, verde, etc. porque o processo cria desenhos e não pinturas coloridas.<sup>79</sup>

Os princípios da ótica e da química que explicam a fotografia já eram conhecidos desde tempos antigos. Se houve um constante aperfeiçoamento da câmara obscura, com a introdução de lentes a partir do século XV, do mesmo modo, o processo químico de escurecimento dos cloretos e nitratos de prata era conhecido, desde o século XVI, como consequência da ação direta da luz. Entretanto faltava o conhecimento necessário para “aprisionar” a imagem projetada de um modo definitivo e eficaz. Em busca do elemento “mágico” vários pesquisadores em todo o mundo trabalharam independentemente, com o objetivo de encontrar uma resposta para o enigma. A câmara obscura dos pintores, no entanto, talvez não seja mais que umas das causas da fotografia, seu suporte estrutural. O elemento essencial, certamente, foi a descoberta dos elementos químicos para a fixação da imagem. Pode ser que Nicéphore Niépce (1765-1833) soubesse intuitivamente disso quando iniciou suas pesquisas de um modo quase obsessivo, para tornar permanentes as imagens projetadas na superfície da câmara obscura. Foi o Niépce físico e químico quem utilizou, a partir de 1822, o betume da Judéia por sua característica particular: o endurecimento na presença da luz.<sup>80</sup> Em 1826 Niépce conseguiu obter com sucesso aquela que é considerada a primeira fotografia do mundo. A partir de uma câmara obscura colocada na janela de sua residência, ele obtém, após oito horas de exposição, uma imagem de seu quintal. Aquele que observar atentamente a fotografia perceberá que a paisagem é estranhamente iluminada em todas as direções, pois o tempo de exposição foi de mais de oito horas, sensibilizando o percurso do sol na esfera celeste.

Daguerre, o inventor do Diorama,<sup>81</sup> era considerado um grande ilusionista por muitos que assistiam aos seus shows, impressionados pela imersão espacial que suas

---

<sup>79</sup> KOSSOY, 1980, p. 23.

<sup>80</sup> Disponível em: <<http://www.niepce.com/pagus/pagus-inv.html>>. Acessado em 15, Julho, 2006.

<sup>81</sup> Daguerre se associou a Charles Marie Bouthon na montagem de um teatro de ilusões visuais, o qual denominou Diorama. Esta invenção pode ser considerada, talvez, o conceito precursor da imersão no espaço virtual. Tecnicamente o diorama tratava-se de uma sala de planta circular, com 12 metros de diâmetro com capacidade para 350 pessoas às quais eram apresentados, através de um proscênio, painéis gigantes medindo 22 metros de largura por 14 metros de altura.

imagens proporcionavam. Os painéis translúcidos eram pintados com cenas panorâmicas permitindo, assim, efeitos de luz e sombra de acordo com o posicionamento da iluminação, efeitos que causariam nos observadores a impressão de estarem diante de uma catedral que se iluminava pela luz do dia, penetrando em suas janelas, quando o cenário parecia mudar quase que magicamente: a luz do dia dava lugar a uma iluminação noturna através de grandes lustres de cristal. O show era complementado pela inserção de atores e animais reais em cena.



Figura 18: Daguerre: fotografia de um Boulevard em Paris, 1839. Devido ao longo tempo de exposição para sensibilização do papel, as ruas aparecem vazias.

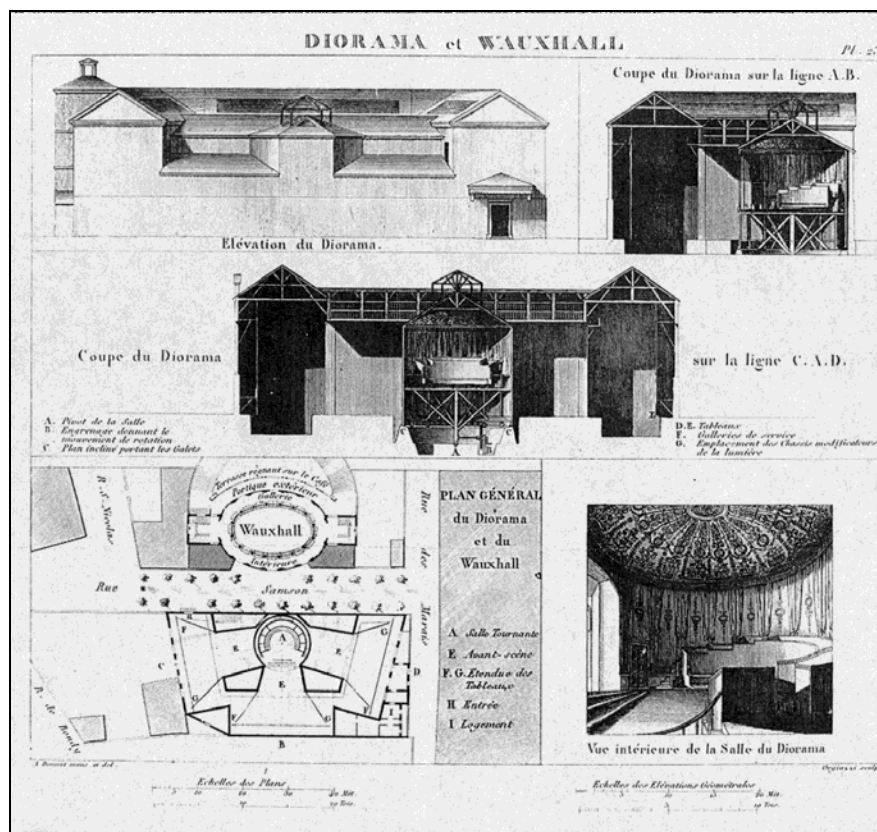


Figura 19: Projetos: Diorama e *Wauxhall*, Paris.

Daguerre ainda não conheceu Niépce até 1828, quando foram apresentados pelo seu fornecedor de materiais óticos, Vincent Chevalier. Niépce se associou a Daguerre em 1829, com o objetivo de aprimorar a *Heliografia*, mantendo contatos técnico-científicos até a data do seu falecimento, em 1833. Muitos acreditam que foi do encontro entre Niépce, e sua determinação quase obsessiva na fixação da imagem, e Daguerre, dedicado a automatizar ao máximo a produção da imagem por projeção, que nasceu a fotografia. Com efeito, Daguerre consegue, em 1835, sensibilizar uma placa metálica revestida com grânulos de prata e fixar essa imagem em menos de 30 minutos, utilizando uma solução saturada de sal.<sup>82</sup> Os clichês de Daguerre eram placas de prata, iodadas e expostas na câmara obscura até a fixação da imagem. Elas precisavam ser manipuladas em vários sentidos, até que se pudesse reconhecer, sob uma luz favorável, uma imagem cinza-pálida. O daguerreótipo produzia peças únicas, sem possibilidade de cópias. O alto custo de uma placa, em média 25 francos no ano de 1839, tornava as fotografias espécies de jóias naquela época, normalmente guardadas em estojos.

<sup>82</sup> Para detalhes sobre o processo de produção do daguerreótipo, ver: KOSSOY, 1980, p. 25.



Figura 20: William Henry Fox Talbot, Pantheon, 1843.

Afinal, quando a câmara fotográfica começar a ser utilizada não apenas pelos fotógrafos retratistas, mas também pelos cientistas, que exploram o rigor documental da fotografia, o horizonte tecnológico torna-se extremamente ampliado.<sup>83</sup> Vale lembrar Barthes, quando afirma que não considera de modo algum a fotografia como uma “cópia” do real, mas uma *emanação do real passado*:

O importante é que a foto possui uma força constativa, e que o constativo da fotografia incide, não sobre o objeto, mas sobre o tempo. Na fotografia, de um ponto de vista fenomenológico, o poder de autenticação sobrepõe-se ao poder de representação.<sup>84</sup>

---

<sup>83</sup> Benjamim já nos alerta para o fato de que a natureza que se apresenta à câmara não é a mesma que apreendemos com a visão, especialmente porque este instrumento tecnológico é capaz de captar instantâneos da realidade de modo irreflexivo, por isso mesmo automático e imperceptível aos nossos olhos. BENJAMIM, 1994, p. 94.

<sup>84</sup> BARTHES, 1984, p. 132.

Assim, a primeira câmara que fotografou um cavalo a galope, com o intuito de descobrir o momento exato em que as quatro patas permanecem no ar, sem tocar o solo, ilustra claramente isso. A câmara fotográfica adquiriu outra capacidade, presente desde o início, mas relegada ao segundo plano: ser a interface de uma representação ampliada da realidade. A evolução dos mecanismos de precisão utilizados nos equipamentos fotográficos e na fabricação de lentes, cada vez mais apropriadas à velocidade dos obturadores e à reprodução de detalhes, permitiu captar o instantâneo apresentado aos olhos, mas incapaz de ser reproduzido mentalmente. Os sistemas de lentes utilizados para ampliar com a mínima distorção o campo visual, e mesmo o alcance visual, na forma de microscópios e telescópios, foram prontamente adaptados às câmaras fotográficas, possibilitando a representação de algo inapreensível a olho nu. Na atualidade existem exemplos de câmaras especiais capazes de registrar imagens na fração de um milésimo de segundo, como as câmaras para testes balísticos, e as câmaras equipadas com conjuntos lentes praticamente sem distorção, utilizadas na fotogrametria.



Figura 21: Daguerreótipo do Capitólio, 1846.

### 3.3 A Estereoscopia

#### 3.3.1 A Ótica e a Visão Binocular Estéreo no Século XIX

A visão em profundidade que temos do mundo que nos envolve deriva, em grande parte, do fato de cada olho captar uma imagem ligeiramente diferente desse universo de coisas, sendo que a sensação de tridimensionalidade é produzida a partir da operação mental de fusão dessas duas imagens. Acredita-se que o fenômeno da visão binocular estéreo seja conhecido desde a Antigüidade. Durante o Renascimento também há indícios de estudos a respeito, tendo sido inclusive encontradas referências nos manuscritos de Leonardo da Vinci.<sup>85</sup> No entanto, foi Charles Wheatstone<sup>86</sup> quem primeiro descreveu do modo mais completo os eventos que explicam este fenômeno da visão.

Em 1838, Wheatstone publicou seu texto mais conhecido, *Contributions to the Physiology of Vision*, no qual ele nos explica os princípios teóricos da visão binocular estéreo. Quando observamos objetos a uma grande distância, a visão humana obedece às leis da perspectiva artificial, descrita por Alberti,<sup>87</sup> onde um sistema de representação artificial do mundo era definido a partir das condições geométricas da perspectiva linear. Quando observamos objetos próximos a nós, ocorre um outro fenômeno: cada olho percebe os objetos a partir de um ponto de vista específico, sendo que os eixos visuais não permanecem paralelos, como no primeiro caso, mas tendem a se convergir progressivamente.

Wheatstone foi o primeiro a demonstrar que as duas imagens dissimulares formadas em cada retina se juntam no córtex cerebral para formar uma nova imagem

---

<sup>85</sup> WHITE, Michael: **Leonardo, O primeiro Cientista**. Portugal: Publicações Europa-América. 2003.

<sup>86</sup> WHEATSTONE, Charles. **Contributions to the Physiology of Vision: on some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision**. London: King's College. 1999.

<sup>87</sup> ALBERTI, 1999.



sintética, apresentando o mundo visto pelos olhos com a sensação de profundidade característica da visão humana. A questão mais importante proposta por ele é a seguinte:

qual seria o efeito visual da apresentação simultânea a cada olho, no lugar do objeto em si, da projeção numa superfície plana da imagem do objeto, como se fosse observado a partir de cada olho respectivamente?<sup>88</sup>

A hipótese de Wheatstone era de que seria possível recriar a sensação de tridimensionalidade dos objetos seguindo esse procedimento. Para responder a esta questão ele inventou um aparelho, denominado estereoscópio. Com este aparelho, que é descrito em detalhes e apresentado esquematicamente no seu primeiro artigo, Wheatstone conseguiu alcançar o resultado esperado. Utilizando alguns pares de figuras geométricas em perspectiva, como se fossem observados a partir de um e de outro olho, ele comprovou que se duas imagens dissimilares forem apresentadas a cada olho, estas imagens serão apreendidas como uma percepção única, transformando o objeto simulado no seu equivalente visual.

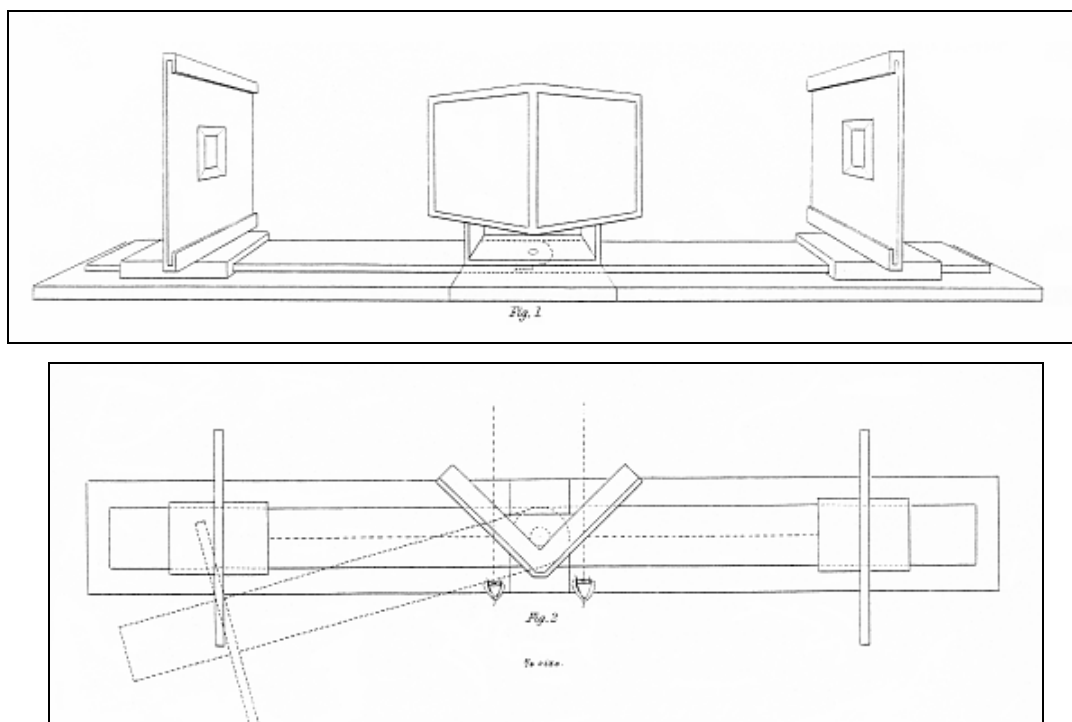


Figura 22: Estereoscópio projetado por Wheatstone. Acima, perspectiva central e, logo abaixo, a vista superior do instrumento.

<sup>88</sup> WHEATSTONE, 1999, p. 2. What would be the visual effect of simultaneously presenting to each eye, instead of the object itself, its projection on a plane surface as it appears to that eye?



Wheatstone chega a comparar o fenômeno da estereoscopia à geometria projetiva, quando ele nota que o processo pelo qual nós nos tornamos familiarizados com as formas reais dos objetos é precisamente aquele que é empregado na geometria projetiva de Monge. Nessa ciência a posição de um ponto, uma linha reta ou uma superfície complexa é completamente determinada pela descrição de suas respectivas projeções em dois planos, estipulados *a priori*. Se nos problemas de geometria descritiva os dois planos são geralmente considerados perpendiculares entre si, na visão binocular estéreo a inclinação desses planos segue a direção dos eixos óticos. O mesmo objeto sólido é apresentado à visão por pares estéreos, que estão situados em planos cada vez mais inclinados à medida que a distância entre os olhos e o objeto diminui. A percepção dessas diferenças entre as duas imagens também colabora para sugerir à mente a distância do objeto. De acordo com Wheatstone, quanto maior a inclinação entre os dois planos visuais, maior a precisão na determinação da distância de cada ponto da projeção dos elementos á nossa frente.

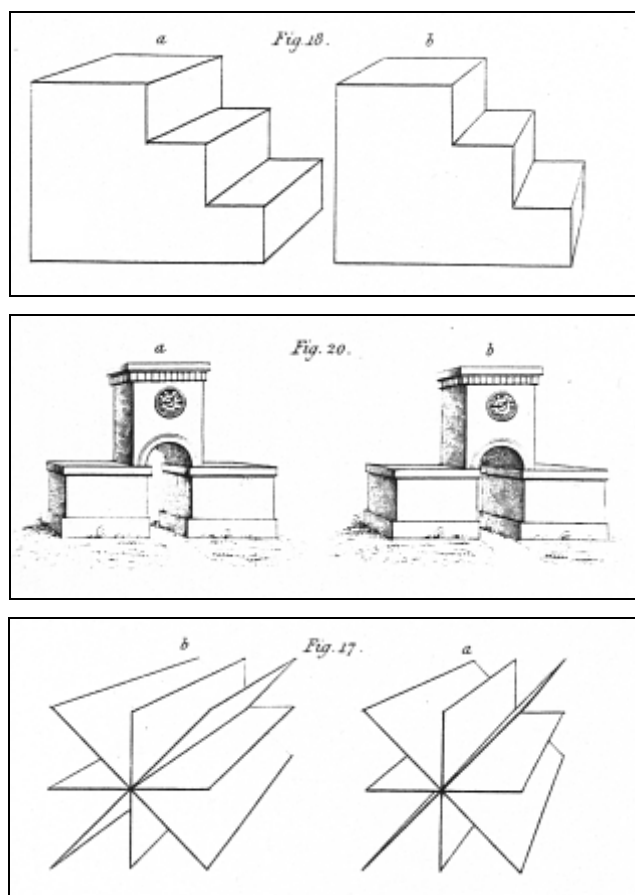


Figura 23: Três exemplos de pares estereoscópicos, com o objetivo de simular a visão binocular estéreo, elaborados por Wheatstone para testar no estereoscópio.

Em 15 de janeiro de 1852, Wheatstone publicaria um acréscimo ao primeiro artigo, publicado em 1838. Como ele mesmo esclarece, no intervalo entre as duas publicações de sua obra o mundo foi testemunha da invenção da fotografia pelas mãos de Daguerre, na França. Ele pondera que em suas experiências o estereoscópio tem simulado a visão binocular de modo efetivo, usando apenas o contorno de objetos simples, mas considera praticamente impossível mesmo para o melhor artista reproduzir, com base em apenas um dos olhos, as imagens necessárias para compor o par estereoscópico, contendo as características de luz, sombra e texturas próprias do objeto real. Tendo conhecimento das descobertas de William Henry Fox Talbot<sup>89</sup> na Inglaterra, Wheatstone logo se interessaria em utilizar a fotografia para demonstrar com mais propriedade a capacidade técnica do estereoscópio. Talbot colaborou pessoalmente nas pesquisas de Wheatstone com alguns exemplares de sua coleção de fotografias obtidas com o processo patenteado por ele em 1841, a talbotipia.

Com relação ao processo de produção dos pares de fotos, Wheatstone apresenta um método a partir de seus experimentos práticos:

Vamos ajustar as imagens binoculares para que sejam observadas no estereoscópio a uma distância de 20 cm dos olhos, onde a convergência dos eixos óticos é em torno de 18°. Desse modo, para obter as projeções apropriadas para esta distância, a câmara precisa ser colocada, com as lentes corretamente direcionadas em direção ao objeto, sucessivamente em dois pontos da circunferência de um círculo do qual o objeto em questão é o centro e os pontos nos quais a câmara é então colocada, precisam ter a distância angular de 18° uma da outra, exatamente como a distância determinada pelo estereoscópio.<sup>90</sup>

Assim, de acordo com seu método, a distância entre a câmara e o objeto pode ser arbitrária, pode ser de 20 cm ou 20 metros, desde que se observe o ângulo do estereoscópio de 18° e seguindo as instruções citadas no seu trabalho. Miniaturas estereoscópicas de edifícios e estátuas de grandes dimensões poderiam, assim, ser observadas desde que se respeite o condicionante técnico apresentado. Após os

---

<sup>89</sup> Ler Kossoy para notas sobre a descoberta de Talbot.

<sup>90</sup> WHEATSTONE, 1999, p.28.

aperfeiçoamentos do instrumento de Wheatstone e Brewster, bem como das técnicas fotográficas em todo o mundo, houve uma explosão de vendas de kits contendo estereoscópios e pares de fotografias. Após 1856, a Companhia Estereoscópica de Londres vendeu cerca de meio milhão de visores estereoscópicos em apenas dois anos.<sup>91</sup>

### 3.3.2 A Estereoscopia no Brasil

O estereoscópio parece ter sido o verdadeiro difusor da fotografia no Brasil, ainda que limitado à classe mais abastada, como nos esclarece José Inácio Parente<sup>92</sup> em seu livro *A estereoscopia no Brasil de 1855-1955*, publicado em 1999. Após uma breve introdução apresentando ao leitor o processo de produção dos pares estereoscópicos e a evolução histórica da estereoscopia, o autor apresenta mais de uma centena de reproduções de fotografias produzidas entre 1855 e 1955, contendo as grandes reformas urbanas, a vida familiar, esportes e diversões, entre outras imagens.

As reproduções se destacam pela qualidade gráfica e pela escolha dos objetos fotografados, que estão entre os mais repletos de história. Parente cita o Alemão Revert Henry Klumb como o precursor da estereoscopia no Brasil. Chegando ao Rio de Janeiro em 1865, Klumb foi professor da Princesa Isabel e foi também o autor das mais antigas estereoscopias conhecidas e preservadas até hoje. Segundo Parente, sua produção tem um valor excepcional pelo pioneirismo técnico e pela documentação histórica da cidade do Rio de Janeiro, de Minas Gerais e da família imperial. Parente discute as razões do declínio da fotografia estereoscópica que, além de difundir informação e beleza, representa um avanço na busca por uma visão tridimensional do mundo. Em sua opinião, a estereoscopia foi vítima de sua própria magia, ou seja, a possibilidade de imersão em simulações estereoscópicas.

---

<sup>91</sup> SILVA, 1995, p. 125.

<sup>92</sup> PARENTE, José Inácio. *A estereoscopia no Brasil de 1855-1955*. São Paulo: . 1999.

Apesar da intensa comercialização de visores estereoscópicos a partir de 1856 e da produção de filmes realizados nos anos de 1950 ainda não houve, até recentemente, nenhuma tecnologia que respondesse de modo satisfatório à criação de ilusões tangíveis através das simulações da tridimensionalidade.<sup>93</sup>

Existiam na época algumas dificuldades técnicas envolvidas na criação da ilusão de profundidade, entre elas o completo conhecimento da geometria subjacente à percepção visual, que apenas na atualidade tem condições de ser levado adiante em função das diversas pesquisas sobre a percepção visual das superfícies, e na representação através de algoritmos computacionais.

Tânia Silva considera que as tecnologias emergentes para a produção de imagens estão criando novos modelos de visualização, que provavelmente virão a se constituir em novos modelos perceptivos. Com certeza, os novos modos de simulação computacional poderão trazer soluções para uma diferente concepção da representação perspectiva. As novas tecnologias de imersão computadorizada poderão estabelecer uma nova ordem visual, onde a simulação estereoscópica desempenhará um papel importante na produção de novos modelos de representação.

### 3.3.3 Estereoscopia e Fotogrametria

George L. La Prade<sup>94</sup> foi o principal autor do capítulo sobre estereoscopia na quarta edição do *Manual of Photogrammetry*, publicado em 1980 pela *American Society of Photogrammetry*. Logo no início ele indica três aplicações para a estereoscopia: em primeiro lugar, ele se refere ao auxílio interpretativo no reconhecimento tridimensional de um objeto, em segundo lugar, está o uso na estimativa de curvas isométricas e alturas

---

<sup>93</sup> Entre os filmes produzidos destacam-se: *House of Wax* de André de Toth, 1953, *Creature from the Black Lagoon* de Jack Arnold, 1954 e *Dial M for Murder* de Alfred Hitchcock, 1954.

<sup>94</sup> LA PRADE, George L. Stereoscopia. In: SLAMA, C. (org.) **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry. 1980. p. 519-544.

relativas e, por último, como uma técnica adjunta na produção de mapas topográficos.<sup>95</sup> Nenhuma dessas aplicações se refere ao objeto arquitetônico, nem em qualquer aplicação na arte ou no campo do entretenimento. Na verdade, La Prade está mais interessado em descrever e analisar as aplicações da estereoscopia no trabalho de mapeamento de grandes extensões territoriais e no treinamento de pessoal técnico especializado. Em consequência, seu texto se insere apropriadamente num manual técnico que dedica apenas sua décima parte ao uso *não-topográfico* da fotogrametria. Entretanto, o texto incorpora questões teóricas e práticas importantes, apresentando desde os princípios básicos da visão binocular estéreo, passando pela construção teórica do estereoscópio e finalizando com um rápido treinamento na interpretação de pares estereoscópicos. La Prade descreve detalhadamente sobre os modelos típicos de estereoscópicos utilizados, incluindo imagens fotográficas e esquemas gráficos de funcionamento. Independente da aplicação, é interessante notar que a estereoscopia permite, exatamente por sua condição de analogia à visão binocular, a medição precisa das medidas dos objetos. O processo de restituição das medidas reais a partir da observação de um par estereoscópico de fotografias é explicado no texto de La Prade, de modo claro e direto, apesar da complexidade do assunto.<sup>96</sup>

O *insight* de Wheatstone abriu um caminho que ia de encontro à perspectiva linear e à geometria projetiva. Quando a estereoscopia entrou em declínio comercial, subjugada pela fotografia colorida, surgiram novas aplicações científicas no campo da fotogrametria arquitetônica e na simulação computacional, resultando na produção de imagens cada vez mais sintetizadas. Apesar de poucos pesquisadores se inclinarem a discutir sobre o uso da estereoscopia hoje e no futuro, exceto no campo da realidade virtual, acredito que ainda existem possibilidades metodológicas a serem experimentadas.

---

<sup>95</sup> La Prade, 1980, p. 519.

<sup>96</sup> Algumas considerações sobre o uso de imagens estereoscópicas coloridas: La Prade alerta que diversos estudos demonstram uma redução da acuidade visual, e que impede a medida precisa de dimensões nas imagens coloridas. O fenômeno, chamado *chromostereopsia* é, em poucas palavras o seguinte: algumas pessoas percebem objetos de determinadas cores mais próximos do outros objetos, apesar de não haver diferença na distância de ambos. Desse modo, a medição de um par estereoscópico em preto e branco seria muito mais preciso do que se fossem fotografias coloridas.



Figura 24: Arco de Tito: reprodução de um par estereoscópico.

A precariedade das análises críticas formuladas sobre a potencialidade da simulação estereoscópica na Arquitetura é devida, em parte, à aparente dicotomia entre a técnica e a arte da estereoscopia. Essa questão não é possível de se resolver apenas com a apresentação de exemplos práticos e teóricos positivos. Tratando-se de um fenômeno complexo com profundas implicações teóricas sobre a percepção e a experiência visual imersiva, algumas práticas podem levantar questões importantes sobre o alcance dessa tecnologia no estudo da Arquitetura. Michael Doneus,<sup>97</sup> num artigo publicado em 1999 pelo *Comité International de Photogrammétrie Architecturale* (CIPA), discute sobre o potencial do uso de imagens *anaglíficas* na visualização de cenários tridimensionais. A simulação computacional de modelos tridimensionais não tem sido acompanhada de perto por uma visualização capaz de assimilar tais modelos. Na maioria das vezes, o resultado é uma representação bidimensional de um modelo tridimensional. Na verdade, o grande diferencial dessa tecnologia é a possibilidade de se visualizar tanto o objeto tridimensional em um conjunto de fotogramas, quanto em

---

<sup>97</sup> DONEUS, Michael. Anaglyph images: *still a good way to look at 3D objects?* In: **Proceedings of the 17<sup>o</sup> CIPA Colloquium**: Mapping and Preservation for the New Millenium, 1999.

simulações estereoscópicas computadorizadas, sintetizadas a partir de modelos matemáticos. Imagens produzidas por programas de computador podem ser visualizadas de maneira análoga à visão binocular quando obedecem às regras matemáticas e óticas da estereopsia. Na prática, a profundidade de campo pode ser simulada quando pares de imagens são produzidas respeitando a condição de eixos visuais paralelos e a razão entre as distâncias da base ocular e do objeto simulado seja aproximadamente 1:30.

Além de descrever alguns sistemas de visualização tridimensional, como o estereoscópio, óculos especiais polarizados, óculos de cristal líquido, Doneus se dedica a explicar mais detalhadamente o sistema *anaglífico*, por constituir o método mais acessível à maioria das escolas e instituições públicas. Sua principal vantagem é a utilização de óculos elaborados com uma lente vermelha para o olho esquerdo e uma lente azul para o olho direito, sendo que essas lentes podem ser feitas com material de baixo custo, que possibilitaria a visualização estereoscópica de um determinado projeto por um grande público, através de livros, Internet e cinema. Minha opinião é que, em muitos casos, essa ampla distribuição, por assim dizer, da tecnologia compensaria algumas desvantagens do sistema *anaglífico*, como a reprodução de cores e a baixa resolução das imagens, por exemplo.

### 3.4 Arquitetura e Fotogrametria

#### 3.4.1 Definições

A palavra “fotogrametria”, de acordo com o *Manual of Photogrammetry*,<sup>98</sup> significa “medir graficamente por meio da luz”. De fato, uma leitura etimológica da palavra nos dará três raízes gregas: *fóton*, que significa luz, *gramma*, que significa algo desenhado ou escrito, e *metrón*, que quer dizer medir. Um outro conceito, talvez mais adequado a sua origem investigativa com base na imagem fotográfica seria: “ciência ou arte de obtenção de medidas confiáveis através de fotografias”.<sup>99</sup>

Entretanto, com o desenvolvimento constante da tecnologia e o aperfeiçoamento das técnicas de investigação fotográfica, novos métodos científicos foram, por assim dizer, descobertos. Tendo como base a utilização não somente de fotografias, mas também de radiações fora do alcance visual, como por exemplo microondas, radar, ultra-som, radiações infravermelho e ultravioleta, a tecnologia dos novos sensores possibilitava produção de uma gama muito ampla de imagens “sintéticas”, que escapavam ao conceito inicial de fotogrametria. Desse modo, uma ampliação do conceito de fotogrametria foi definida em 1979:

Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia da obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e ambientais através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia radiante eletromagnética e outros fenômenos.<sup>100</sup>

Thompson estabelece algumas categorias em fotogrametria, de acordo com os tipos de fotografias ou sistemas de sensores usados:

---

<sup>98</sup> SLAMA, Chester C. **Manual of Photogrammetry**. Editor-in-Chief. Falls Church: American Society of Photogrammetry. 1980.

<sup>99</sup> THOMPSON, 1980, p. 1.

<sup>100</sup> SLAMA, 1980, p. 1.



1. *Fotogrametria terrestre*: fotografias produzidas desde pontos da superfície terrestre;
2. *Fotografia horizontal*: a câmara fotográfica é mantida no solo, com o eixo ótico sempre na horizontal;
3. *Aerofotogrametria*: quando a câmara fotográfica ou outro tipo de sensor eletromagnético é acoplado num avião, com o objetivo de se obter imagens a partir de um eixo vertical ou oblíquo em relação à superfície terrestre;
4. *Radargrametria*: denota a utilização de sensores com base na tecnologia de ultra-sons acoplados em num avião;
5. *Fotogrametria por raios X*; utilização de equipamentos de raios-X como auxiliares no levantamento de objetos não visíveis a olho nu;
6. *Videofotogrametria*: usa seqüências de imagens de vídeo, no lugar de imagens fotográficas;
7. *Estereofotogrametria*: utiliza pares de fotografias para obter referências tridimensionais de determinados cenários e objetos.

### **3.4.2 Antecedentes Históricos**

Ao que tudo indica, foi o fotógrafo Gaspard-Felix Tournachon (1820-1910), mais conhecido por Nadar, quem primeiro utilizou a técnica fotográfica com a finalidade de realizar levantamentos aéreos de territórios em guerra. Jornalista e caricaturista de relativo sucesso, Nadar aprendeu a arte e a técnica da fotografia em 1853 e tornou-se um dos grandes nomes da história da fotografia. Conhecido por ser um homem empreendedor, Nadar foi o primeiro na França a realizar fotografias de túneis subterrâneos utilizando luz artificial e o primeiro a fotografar Paris de um balão, sendo comissionado pelo imperador Napoleão III em 1859 para o reconhecimento do território

italiano e fornecimento de fotografias para a elaboração de uma estratégia de ataque durante a batalha de Solferino, no Norte de Itália.<sup>101</sup>

O Coronel do Exército Francês Aimé Laussedat (1819-1907) é considerado pelos historiadores como o pai da Fotogrametria. Em 1851, Laussedat concebeu um processo que denominou *iconometria*, com o qual seria possível realizar levantamento utilizando uma câmara clara acoplada a uma luneta sobre um tripé, o iconoscópio. A câmara clara<sup>102</sup> é um pequeno instrumento usado para o desenho de cenas à luz do dia, sendo que os raios de luz são refletidos por um prisma para produzir uma imagem num pedaço de papel, colocado apropriadamente no seu interior, sobre o qual um desenhista elaborava a reprodução da imagem projetada. Com o aperfeiçoamento do processo de revelação de fotografias, a câmara clara foi substituída pela câmara fotográfica, possibilitando a automatização da reprodução da imagem. Após isso, Laussedat utilizou este instrumento para realizar um levantamento de Paris do alto de suas torres e telhados. Seu trabalho influenciou diversos pesquisadores no final do século XIX e contribuiu para a aceitação da fotogrametria como ferramenta de investigação territorial pelo governo francês.

Um dos primeiros especialistas dedicados no uso científico da fotografia, principalmente no campo da cartografia, foi Edouard Gaston Daniel Deville. Deville tornou-se reconhecido mundialmente pela comunidade científica após a publicação, em 1895, de um livro descrevendo um método de levantamento fotográfico para a confecção de mapas, que o próprio Deville utilizou no mapeamento da costa oeste do Canadá.

Deville deixa claro que o método de levantamento que ele desenvolve no Canadá tem influência direta de Laussedat, após a publicação, em 1854, de seu *Mémoire sur l'officier de la chambre claire dans les reconnaissance topographiques*.<sup>103</sup> O método

---

<sup>101</sup> THOMPSON, 1980. p. 5.

<sup>102</sup> A câmara clara é muito confundida com a câmara obscura, que funciona segundo um princípio ótico totalmente diferente. Este instrumento foi inventado pelo Dr. William Hyde Wollaston, em 1806.

<sup>103</sup> Dissertação sobre emprego da câmara clara nos levantamentos topográficos.

que Deville pôs em prática no Canadá foi descrito por Atkinson<sup>104</sup> como sendo o processo de:

Fotografar um terreno a partir de diversas estações com posicionamento conhecido, utilizando lentes com baixa distorção, cuidadosamente niveladas e tendo o eixo ótico fixado na horizontal e orientado em direções conhecidas. Com as fotografias assim obtidas, é possível no escritório desenhar raios em direção a marcos de destaque na paisagem fotografada que aparecem em duas ou mais fotografias, de tal modo que a interseção destes raios localize esses marcos no mapa em sua posição real, relativa às estações fotográficas. É possível, também, com medições nas próprias fotografias, derivar elevações relativas. Desse modo, os elementos primários do mapeamento topográfico são obtidos: *posição e elevação*.<sup>105</sup>

Deville projetou um sistema de levantamento topográfico, no qual o eixo da câmara fotográfica permanece sempre fixo na horizontal. Além disso, ele explica no seu livro como calibrar a câmara para determinar a distância principal e o ponto principal de posicionamento. De acordo com Thompson, Deville também projetou e construiu um instrumento de mapeamento modificando o desenho do estereoscópio de Wheatstone, com o objetivo de incrementar a precisão dos levantamentos fotográficos com a utilização da estereometria. Apesar desse instrumento não ser mencionado em seu livro, ele descreve a construção do que ele chamou de *perspectometer*, onde se poderia derivar uma projeção em planta de uma cena a partir da imagem fotográfica. De acordo com Atkinson, o aparelho inventado por Deville representou uma evolução na confecção de

---

<sup>104</sup> ATKINSON, K. B. **Deville and Photographic Surveying**. In: Photogrammetric Record. Vol 15 (86). 1995. p. 189-195.

<sup>105</sup> ATKINSON, 1995, p. 190. *Photographing the terrain from several camera stations of known position, with cameras having low distortion lenses, carefully levelled, with the optical axis truly horizontal, and oriented in known directions. With the photographs thus obtained, in the office, it is possible to plot directional rays to significant features that appear in photographs from two or more stations, such that the intersections of these rays locate the features on the map in true positions relative to the camera stations. It is also possible, with simple photomeasurements to derive relative elevations. Thus the primary ingredients of topographic mapping are obtained: position and elevation.*

mapas a partir de levantamento fotográficos. Desse modo, ele possivelmente utilizou pela primeira vez um estereoscópio para a realização de mapas topográficos.<sup>106</sup>

### 3.4.3 A Fotogrametria Arquitetônica

A fotogrametria é um dos métodos de registro e documentação do patrimônio histórico mais difundido pela CIPA, durante o Colóquio de Saint-Mandé em 1968, até a publicação dos trabalhos apresentados em Lucca, em 1973, na forma do livro *Fotogrametria dei Monumenti*. Desde 1968, quando foi criado pelo ICOMOS, *International Council on Monuments and Sites*, esse conselho tem discutido, analisado e defendido o uso da fotogrametria arquitetônica como o meio mais eficiente de registrar, documentar, arquivar e representar a Arquitetura e a cidade. Entretanto, no texto do *Manual of Photogrammetry*, contendo mais de mil páginas, encontramos um capítulo denominado “fotogrametria não-topográfica”, ocupando pouco mais de noventa páginas. Está clara a posição da Arquitetura no campo das técnicas de medição por imagens fotográficas: ela se encontra no meio de um condensado de técnicas de aplicação restrita apenas a alguns setores da sociedade. O termo não-topográfico abrange a fotogrametria de curto alcance, fotogrametria terrestre, fotogrametria subaquática e sistemas holográficos<sup>107</sup> de medição, entre outros.

Karara,<sup>108</sup> autor do capítulo sobre fotogrametria arquitetônica, não perde tempo em contextualizações históricas ou culturais. Seu texto é direto, objetivamente dirigido ao ensino das técnicas de levantamento e à descrição dos equipamentos, ou seja das

---

<sup>106</sup> ATKINSON, 1995, p.192.

<sup>107</sup> Há diversas outras aplicações industriais da holografia, tais como: elementos óticos holográficos (redes de difração, filtros, etc.), memórias holográficas com altíssima capacidade, sistemas holográficos de varredura (scanning), testes não destrutivos, estudos de fotoelasticidade, processamento ótico de informação, análise de deformações por interferometria holográfica, entre outros. Disponível em: <<http://www.eba.ufmg.br/hololab/historico.html>>. Acessado em 10, Ago., 2006.

<sup>108</sup> KARARA, H. M. Non-Topographic Photogrammetry. In: SLAMA, C. (org.) **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry. 1980. p. 785-875.

câmaras métricas e não-métricas e dos sistemas de restituição analógicos ou analíticos, enfim, das aplicações mais comuns da ciência fotogramétrica. Desse modo, Karara disponibiliza ao leitor uma dezena de páginas contendo informações sobre câmaras métricas, incluindo as câmaras simples e as câmaras para estereoscopia, que na verdade são conjuntos de duas câmaras rigidamente conectadas sobre uma haste articulada e um tripé. No entanto ele dedica apenas meia página na apresentação das câmaras não-métricas, ou seja, câmaras de uso geral, operadas por amadores ou profissionais.

A aparência de um catálogo de equipamentos de que o texto se aproxima não se desfaz pelos longos e detalhados comentários sobre meia dúzia de câmaras métricas, incluindo todo tipo de informações técnicas, inclusive uma tabela com os principais modelos fabricados nos anos 80. Após observar mais de uma dezena de fotografias de câmaras métricas, de custo elevado, mesmo hoje em dia, a descrição das câmaras não-métricas está envolta num ar de clandestinidade, por assim dizer. Entretanto Karara acrescenta que em meio a essa rigidez metodológica há um crescente uso de câmaras convencionais, pois são mais acessíveis aos pesquisadores pelo custo e pela flexibilidade no uso, desde que trabalhando em conjunto com algoritmos computacionais avançados.

Karara enumera uma série de vantagens e desvantagens no uso de câmaras convencionais no levantamento fotogramétrico, estabelecendo uma preferência óbvia pelas câmaras métricas. Ocorre que desde os anos setenta, existe uma comissão na ISPRS, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, dedicada a estudar novos métodos de levantamento utilizando câmaras convencionais. Esses métodos, segundo Karara, são baseados em técnicas analíticas altamente sofisticadas, que se concentram, na maioria dos casos, na calibração e nos testes dessas câmaras. Tais técnicas se tornaram cada vez mais popularizadas pela expansão das tecnologias digitais de processamento da imagem.

A grande expansão do uso de câmaras convencionais a partir de 1970 por profissionais especialistas teve um impacto considerável na produção de documentos fotográficos, nos quais a precisão das medições era um dos objetivos principais. Considerando isso, muitos pesquisadores iniciaram estudos objetivando a otimização da

relação câmara convencional x algoritmos computacionais, para que um baixo custo operacional seja alcançado nos processos de levantamento arquitetônico e urbanístico.

A fotogrametria arquitetônica, ou seja, a ciência do registro e da medição de edifícios em geral, é historicamente anterior à fotogrametria aérea, de uso generalizado na atualidade. De fato, quando o general Laussedat inventou seu primeiro instrumento de levantamento fotográfico em 1851, o iconoscópio, seu objeto de estudo foi um edifício histórico. Logo após, em 1858, o professor Meydenbauer tomou conhecimento dos estudos de Laussedat e, após quase trinta anos de trabalho, criou em 1885 a *Konigliche Preussische Messbildanstalt*,<sup>109</sup> que foi, de acordo com Giulio Schmiedt,<sup>110</sup> a primeira instituição dedicada a inventariar e investigar os monumentos históricos da Prússia através de técnicas e métodos fotogramétricos, sendo ao longo dos anos seguintes a principal referência para a criação de outros centros de pesquisa na Europa.

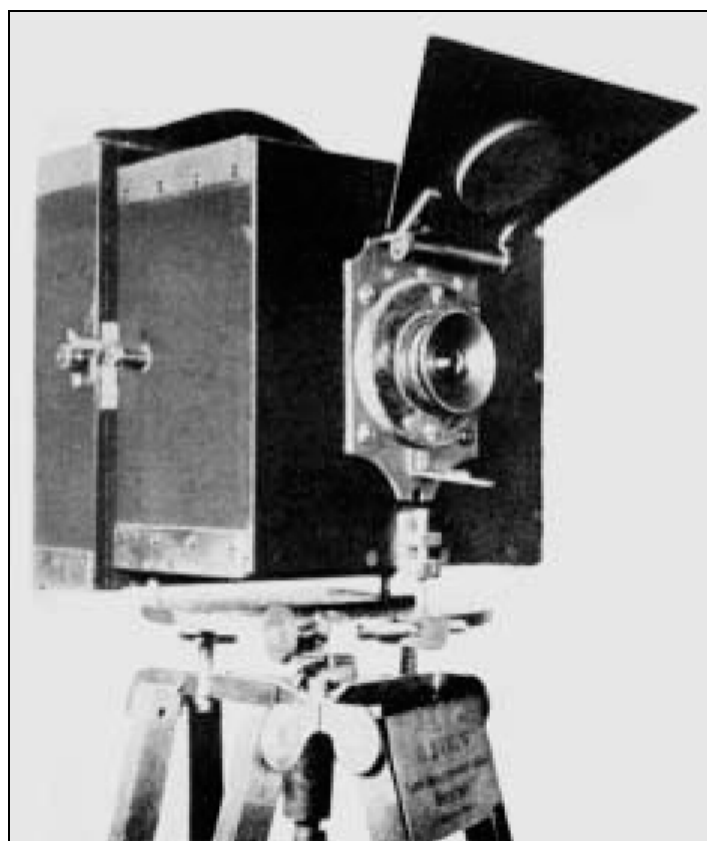


Figura 25: Primeira câmara fotográfica métrica construída por Meydenbauer, 1897.

---

<sup>109</sup> Instituto Prussiano de Documentação Fotográfica

<sup>110</sup> SCHMIEDT, G. **Fotogrametria dei Monumenti**. Florença: Libreria Editrice Fiorentina. 1975.

O Dr. Albrecht Meydenbauer<sup>111</sup> (1834-1921) foi o pioneiro no uso da fotogrametria para levantamentos arquitetônicos, após o conhecimento das experiências de Laussedat com a câmara fotográfica, em Paris. Fundador e diretor do Instituto Fotogramétrico Real Prussiano até 1909, é considerado o primeiro a usar o termo “fotogrametria” para denominar este tipo de levantamento de edificações. Após tentativas frustradas com as câmaras comerciais existentes e objetivando reunir em uma única peça uma câmara fotográfica e um instrumento de medida de distâncias, Meydenbauer concebeu a primeira câmara métrica conhecida em 1897, usando uma *Pantoskop* grande-angular da oficina de Emil Busch in Rathenow. Esta câmara foi construída como uma caixa rígida e robusta, com uma distância focal fixa, evitando processos repetitivos de calibração, integrando à lente uma lâmina reticulada, também conhecida como *réseau*, que poderia eliminar as distorções perspectívicadas durante a restituição geométrica. O amplo formato do filme, 40x40 cm, garantiria a precisão das medidas no levantamento fotogramétrico. A máquina era montada sobre um tripé e mantida nivelada no eixo horizontal, tornando-se a principal referência para a fabricação de câmaras métricas nos anos seguintes.

A Segunda Guerra Mundial devastou grandes áreas da Europa, causando a destruição maciça dos monumentos históricos e levantando uma questão importante: a necessidade de se aplicar a fotogrametria extensivamente na documentação do patrimônio histórico mundial. A constituição do ICOMOS, em maio de 1954, foi o primeiro passo no sentido de se estimular a documentação, a análise e a difusão de toda a informação necessária para a salvaguarda, a conservação e o restauro dos monumentos históricos.<sup>112</sup>

Dentre as atividades do ICOMOS, uma das resoluções mais importantes foi a constituição de um comitê internacional, como resultado das discussões levantadas no Colóquio de Saint-Mandé, em junho de 1968. A CIPA foi constituída com a tarefa principal de ampliar a abrangência da fotogrametria arquitetônica aos especialistas na conservação e na restauração dos monumentos, bem como do público em geral. A partir

---

<sup>111</sup> ALBERTZ, Jörg. **Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage**. Proceedings of the 18th International Symposium CIPA, 2001, p. 19-25.

<sup>112</sup> SCHMIEDT, 1975, p. 9.

de sua criação, a CIPA tem realizado reuniões anuais objetivando troca de experiências sendo as primeiras realizadas em Paris (julho de 1970), Praga (julho 1974), Zurique (março, 1972), Florença (setembro 1973) Atenas (maio, 1974) e Londres (setembro, 1975).<sup>113</sup>

Os temas das reuniões eram geralmente ligados à evolução dos instrumentos e dos métodos, o panorama mundial do uso das técnicas fotogramétricas, bem como o ensino e treinamento das matérias relacionadas.

Schmiedt acreditava que a fotogrametria de monumentos significava um verdadeiro salto de qualidade em comparação com as técnicas e métodos tradicionais, em primeiro lugar, por possibilitar a produção de levantamentos em relevo das obras passíveis de restauro, dando condições aos especialistas de conhecerem com exatidão a localização e a extensão da área danificada, exatamente por suas qualidades mais sensíveis: objetividade gráfica e riqueza de detalhes<sup>114</sup>.

Dentre os vários trabalhos realizados na Europa durante a década de 1970, podemos citar: o relevo das fachadas de edifícios situados em determinada praça ou rua que seja alvo de intervenção urbana, ou ainda, o estudo prospectivo da inserção de um edifício contemporâneo nos limites de um centro histórico. Os especialistas no levantamento de monumentos históricos da Arquitetura e da Arqueologia alertam para a distinção entre a forma aparente, considerada como a percepção de um observador a partir de um determinado ponto de vista, e a “forma real”, considerada como a forma geométrica resultante da medição de cada parte do objeto arquitetônico, através de um procedimento que utiliza a fotografia, com toda sua capacidade de verossimilhança como fonte elementar de dados para o desenho de fachadas e plantas e relevos.

A fotogrametria arquitetônica tem caráter essencialmente investigativo, e uma de suas principais vantagens é o nível de ampliação da apreensão da realidade que ela alcança. Em outras palavras, a informação fotográfica de uma fachada contém dados referentes à sua estrutura tectônica que escapam aos olhos do observador mais atento.

---

<sup>113</sup> SCHMIEDT, 1975, p. 10.

<sup>114</sup> SCHMIEDT, 1975, p. 10.



Após, restituída, na forma de pontos no espaço tridimensional, as coordenadas X, Y e Z da estrutura edificada constituem uma lista que, através de interfaces eletrônicas ou digitais, tornam-se os elementos mínimos para a representação gráfica das elevações precisas dos objetos registrados. As linhas aparentemente retas são, na verdade, linhas ligeiramente curvas, as faces niveladas e apumadas se encontram levemente inclinadas, mas isso não é perceptível mesmo ao técnico mais experiente utilizando métodos de medida direta. Assim, torna-se evidente que a câmara fotográfica capta informações visuais totalmente adaptadas ao uso dentro de um sistema de sensoriamento remoto<sup>115</sup> dedicado às formas arquitetônicas. As deformações sofridas por uma edificação, ou estrutura, como por exemplo uma ponte ou torre de uma igreja, ou mesmo uma estátua, mesmo mínimas poderiam ser medidas e analisadas ao longo de dias, meses, anos poderiam ser feitas comparações entre os dados levantados atualmente relativos a um determinado objeto e os dados arquivados.

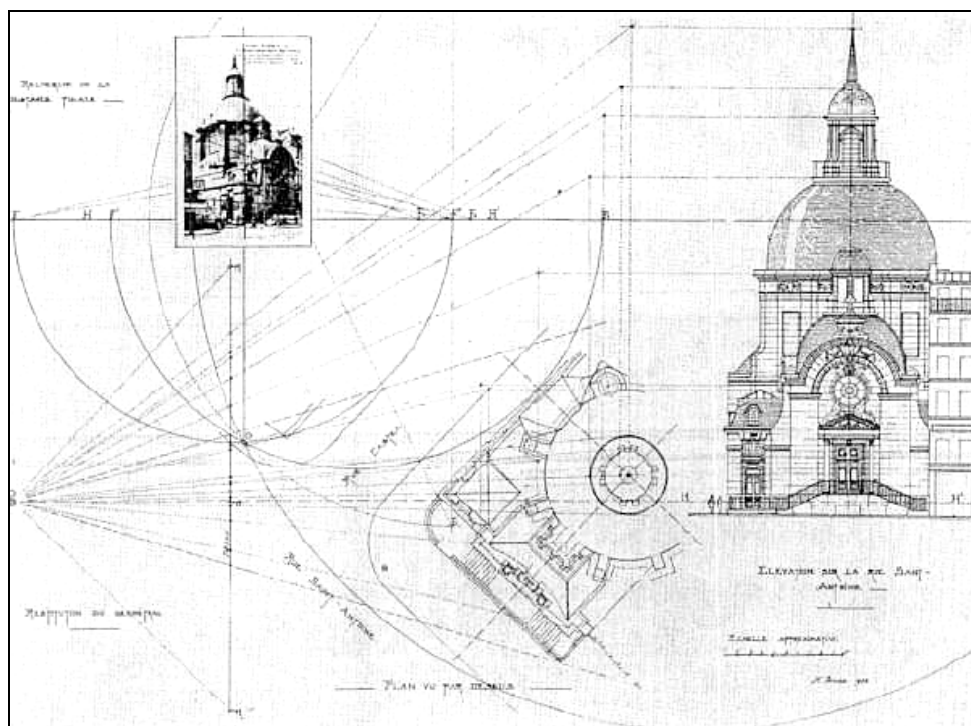


Figura 26: Reconstrução gráfica de elevações e plantas a partir de uma fotografia. Igreja de Santa Maria, em Paris.

<sup>115</sup> Ainda que o sensoriamento remoto seja mais conhecido como a análise das condições geológicas e climáticas da Terra mediante a utilização de satélites com sensores destinados à detecção dessas condições, para levantamento de solos, mapeamento e controle de acidentes geológicos, esta tecnologia poderia, além disso, ser utilizada para o estudo de edificações e estruturas urbanas.

Jarl Nordbladh,<sup>116</sup> no artigo publicado nos anais do Simpósio de Luca, trata da documentação fotogramétrica como parte importante nas pesquisas históricas da sociedade. Como as pesquisas em história da cultura, nas palavras de Nordbladh, dependem em grande parte “das medidas das diferentes qualidades dos objetos”, a investigação e a catalogação desses objetos necessita de um plano de ação. Pensando nisso, ele elabora um esquema gráfico, no qual ele tenta agrupar alguns dos mais importantes componentes no processo de documentação e também apresentar as interações e dependências possíveis entre as expectativas, requerimentos e resultados dependendo de como o processo de pesquisa é manipulado.

Ao lado do quadro de Nordbladh, poderíamos construir um outro, análogo ao primeiro, porém contextualizado nos tempos atuais, inserindo novas discussões teóricas e práticas e também com novas propostas e mídias de projeção, além das descritas por ele em 1975. Nordbladh discrimina, além disso, algumas demandas que ele acredita serem parte de todo processo de documentação fotogramétrica.

Em primeiro lugar, ele enumera a *relevância*, ou seja, aquilo que está ligado diretamente à pesquisa, descartando o que não atende aos critérios estabelecidos na proposta inicial. Em segundo lugar, ele cita a *precisão*, ou exatidão, demandada pelo projeto em questão, o que é muito difícil de generalizar, ressalta, por depender da etapa da investigação, do material a ser levantado e do escopo do processo científico. Se escavações arqueológicas geralmente têm tolerância em torno de centímetros, alguns tipos de imagens de objetos, como esculturas e detalhes intrincados de edificações, podem exigir precisão milimétrica nos levantamentos, no mesmo patamar se encontram as medidas de variações em edificações em processo de monitoramento da estrutura física.

---

<sup>116</sup> NORDBLADH, Jarl. Documentation as Part of the Research Process: some considerations actualized by the application of the photogrammetric measuring techniques in history of culture. In: **Fotogrametria dei Monumenti**. Florença: Libreria Editrice Fiorentina. 1975. p. 159-170.

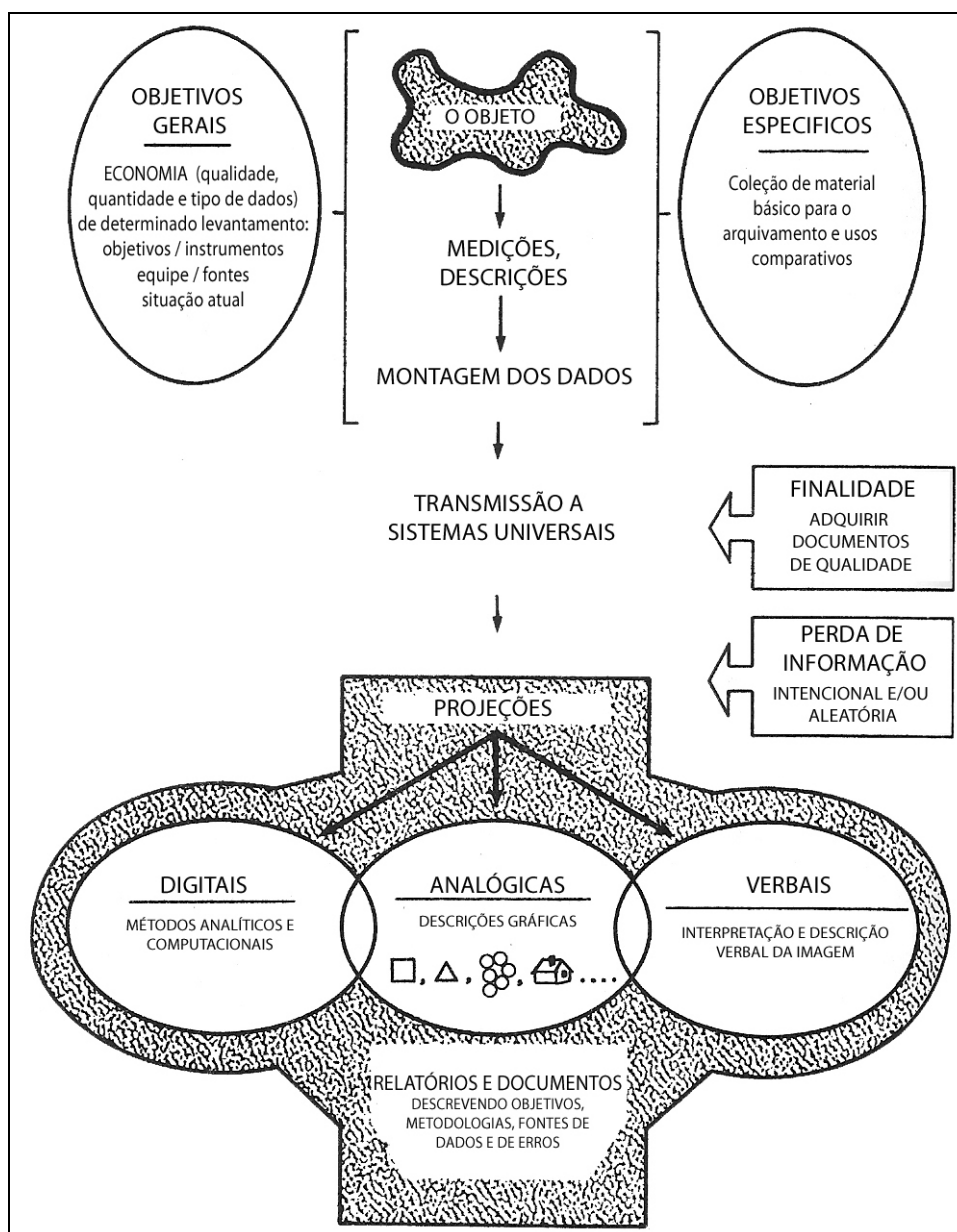


Figura 27: Reprodução do Processo de Documentação Fotogramétrica, segundo Jarl Nordbladh.

Fonte: Nordbladh, Jarl.

Em terceiro lugar, há a necessidade de uma ação de *controle* sobre a documentação resultante da pesquisa, ou seja, se durante o processo e levantamento, medição e análise dos edifícios, ou mesmo conjuntos urbanos, os profissionais envolvidos têm tarefas específicas dentro da sua especialidade, é extremamente relevante haver um coordenador com capacidade de conectar as partes, os relatórios, que contêm os diferentes aspectos, cada faceta do projeto, transformando-os numa obra concisa e coerente. Em quarto lugar, ele cita a demanda pela *standardização*, que

significa criar parâmetros dimensionais e de representação gráfica, objetivando a normalização dos relatórios e documentos resultantes do processo de pesquisa, permitindo que tanto aspectos intersubjetivos quanto métodos matemáticos possam ser compreendidos pelos pesquisadores.

Em quinto lugar, ele faz referência à *permanência* dos documentos, que se expressa pela qualidade de cada mídia usada em todo processo de levantamento. O papel, as mídias óticas, as mídias magnéticas, ou as fotografias têm diferentes qualidades no arquivamento e na apresentação dos dados. Cabe ao técnico especialista, bem como ao historiador e ao arquiteto, indicar a qualidade visual, a durabilidade, a maneabilidade, ou a interatividade desejável na representação dos resultados.

Para Nordbladh, as maiores dificuldades no processo de comunicação entre historiadores, arquitetos e restauradores e técnicos de medição e levantamento fotográfico, estão na falta de uma educação específica sobre os métodos fotogramétricos, tanto no nível mais básico, como no mais avançado. Diferentes necessidades requerem diferentes níveis de educação. Assim, conhecimentos básicos de técnicas de medição e análise qualitativa dos levantamentos, bem como aspectos teóricos da medição de Arquitetura, Urbanismo e Arqueologia, seriam desejáveis para pesquisadores oriundos de outras especialidades. Um treinamento especial, com prática intensiva na produção de documentos utilizando técnicas fotogramétricas e geodésicas, seria fundamental para a capacitação de pesquisadores que não são especialistas da área, onde a precisão das medidas e a representação gráfica mais elaborada se faz premente.

Em seu texto, Nordbladh estabelece três condições para uma abordagem crítica da fotogrametria como técnica de registro e também como prática científica geradora de conhecimento: a escolha dos objetos, a elaboração dos documentos e os campos de aplicação.<sup>117</sup>

Na escolha dos objetos, Nordbladh admite que uma classificação rígida, na mesma linha dos “grandes monumentos históricos”, é inevitável, porém acredita que o estudo de outras qualidades de produções culturais materializadas das mais diversas

---

<sup>117</sup> NORDBLADH, 1975, p. 166.

maneiras também pode gerar conhecimento. Somando-se a isso o fato de que a produção dos documentos não visa somente uma análise imediata do material, mas também a demandas futuras, tal produção deve ser representada do modo mais diversificado possível, e não apenas com base em documentação fotogramétrica.

As características peculiares dos documentos produzidos por meio de investigações fotogramétricas, as fotografias, as ortofotos e as restituições em forma de plantas e fachadas, merecem atenção por parte dos pesquisadores. Hoje em dia não é muito diferente apesar de mais de três décadas nos separar do texto de Nordblad, se considerarmos apenas a mídia impressa. Entretanto se considerarmos os avanços na produção de imagens numerizadas e as possibilidades da simulação computadorizada, percebe-se que houve, na verdade, uma ampliação de dimensões extremas durante a última década. Vamos discutir melhor esse fenômeno no próximo capítulo, quando apresentaremos as bases para o entendimento desse novo paradigma, bem como as limitações, práticas e teóricas, dos processos atuais de representação e simulação computacional.

No contexto dos anos 70, quando a fotogrametria arquitetônica era então considerada a tecnologia mais avançada para a medição e o levantamento de edificações, Nordblad discutia de modo pertinente, sobre o tratamento paradoxal dado à informação, onde os dois principais atores envolvidos no processo não se entendiam por falta de interfaces no processo de conhecimento. Há a intenção dos técnicos especialistas em discutir principalmente sobre a escolha dos instrumentos condições especiais de uso de determinada câmara, ou da melhor impressora, para obtenção desse ou daquele material fotográfico. Assim, os estudiosos envolvidos com as análises do material se queixam de que as pesquisas isoladas e desarticuladas entre si não propiciam uma discussão frutífera, com resultados relevantes. Em poucas palavras, a questão de Nordblad é a questão dos grandes teóricos envolvidos com a documentação e a preservação do patrimônio histórico e cultural. Será que há conhecimento suficiente sobre a utilidade da fotogrametria no contexto da Arquitetura para a produção de textos sobre as técnicas de medição, os instrumentos, as técnicas de representação e de

interpretação, além de questões sobre as demandas por documentação de acordo com as características de cada projeto de preservação, restauro, ou revitalização?<sup>118</sup>

Nordbladh reconhece que as informações geradas por levantamentos fotogramétricos são definitivamente mais precisas, proporcionando grande economia de tempo e dinheiro. O que ele questiona, de fato, é a valorização excessiva da representação gráfica em detrimento de seu valor como ferramenta de pesquisa científica. Em lugar da investigação mais abrangente da quantidade cada vez maior de objetos, as pesquisas poderiam utilizar a fotogrametria para produzir um conhecimento diverso sobre um mesmo objeto, criando condições para um estudo mais aprofundado do tema, capaz de orientar ações futuras sobre as possibilidades e as deficiências do método fotogramétrico.

Como podemos perceber, apesar de, na atualidade, a aplicação mais conhecida da fotogrametria consistir da compilação de informações visuais para a confecção de mapas topográficos e temáticos,<sup>119</sup> além de sistemas de georeferenciamento e também foto-interpretação com ênfase em planejamento estratégico, a fotogrametria tem sua origem, tanto teórica quanto prática, na documentação e no estudo da Arquitetura. Desse modo, este texto tem como objetivo principal estudar e discutir a respeito da utilização da “fotogrametria arquitetônica”, como uma disciplina capaz de contribuir, tanto na teoria quanto na prática, para o estudo da Arquitetura e da cidade. Como pode ser observado tanto na produção acadêmica, quando na prática profissional, mesmo na atualidade, a fotogrametria arquitetônica é totalmente desconhecida pela maioria dos arquitetos e urbanistas.

---

<sup>118</sup> NORDBLADH, 1975, p. 167.

<sup>119</sup> Como já foi dito, a fotogrametria é uma ciência envolvida com diversas aplicações tais como geologia, agricultura, planejamento de cidades, cadastro urbanístico, inteligência militar, medicina e áreas análogas, além de muitas outras aplicações, como no campo da perícia forense, estudos em oceanografia, meteorologia e investigações arqueológicas. Para mais detalhes, ver: THOMPSON, 1980.

### 3.4.4 O processo de Documentação Fotogramétrica

No período entre a criação da CIPA, em 1968, e o *Simposio Internazionale di Fotogrammetria dei Monumenti*,<sup>120</sup> realizado em Lucca (24-27 setembro de 1973), houve cinco reuniões anuais e três Simpósios internacionais. A publicação dos trabalhos apresentados na forma de um livro foi de grande importância para estudos futuros sobre a evolução da fotogrametria arquitetônica, considerada por muitos a ferramenta mais avançada para o registro e a documentação da Arquitetura. Este momento é importante para a reflexão sobre a evolução da fotogrametria arquitetônica enquanto tecnologia cognitiva. Os estudiosos e especialistas da fotogrametria e do patrimônio cultural são capazes de apresentar trabalhos que evidenciem as conexões entre teoria e prática no estudo da Arquitetura e da cidade.

Considerada pelos especialistas dos anos 70 o estado da arte das técnicas de levantamento e medição, a técnica fotogramétrica dá à imagem fotográfica outra finalidade além do entretenimento, documentação iconográfica ou artística, utilizando ao máximo suas principais qualidades: precisão gráfica e verdade científica. Partilhando, desse modo, os mesmos objetivos da geometria projetiva de Monge e Poncelet, na imagem fotográfica de um detalhe arquitetônico há a expressão de verdade da geometria projetiva. Após as correções das distorções geométricas das lentes é possível se chegar à forma natural da edificação, ou seja, aquela que exprime graficamente no papel ou no vídeo, a natureza física e construtiva dos elementos explorados.

A concepção de ciência como investigação total é discutida por alguns autores, como Nordbladh e Gullini, por exemplo, que apontam na direção de uma “investigação temática”, mais adequada à realidade de um mundo cada vez mais especializado, apontando o caminho da interdisciplinaridade em oposição a uma abordagem multidisciplinar e autônoma da fotogrametria. As recomendações do Simpósio internacional de fotogrametria arquitetônica, transcritas a seguir, sintetizam o espírito de

---

<sup>120</sup> SCHMIEDT, 1975, p. 2.

uma época, onde a preocupação com a exatidão e a fidelidade geométrica e fotográfica da documentação do patrimônio cultural:<sup>121</sup>

1. que as elevações fotogramétricas sejam consideradas em qualquer país como a base da documentação e sejam executados sob a direção das autoridades governamentais responsáveis pelo patrimônio cultural;
2. que os governos se esforcem para introduzir na formação dos arquitetos, arqueólogos e historiadores de arte conteúdos sobre as possibilidades dos métodos fotogramétricos;
3. que seja desenvolvida uma estreita colaboração entre os arquitetos, os restauradores, os arquitetos e os especialistas em fotogrametria;
4. que a CIPA continue seu esforço de informação e de documentação para a extensão de seu quadro de membros e que estes forneçam os elementos necessários à elaboração de seus relatórios e à realização de seus estudos técnicos.

Entre todos os participantes, dois personagens se destacam na história recente da fotogrametria arquitetônica, o arquiteto francês Maurice Carbonnell<sup>122</sup> e o arquiteto alemão Hans Foramitti.<sup>123</sup> O primeiro, presidente da CIPA em 1973 e diretor do Centro de Fotogrametria Arquitetônica e Arqueológica do IGN/França, foi um dos precursores no estudo e na divulgação das técnicas de levantamento usando fotografias, a partir dos anos 60. Foramitti, que não participou do Simpósio de Lucca em virtude de um grave acidente, é outro grande pesquisador das técnicas de levantamento e medição na Arquitetura e na Arqueologia. Os dois escreveram importantes textos sobre os princípios básicos da aplicação na fotogrametria ao estudo da Arquitetura e dos monumentos históricos. Cada um deles apresenta, à sua maneira, as definições técnicas mais usadas, tipos de produtos e métodos de restituição da sua imagem fotográfica ambos com uma forma real do edifício a partir da profusão de fotos ilustrativas e esquemas gráficos.

---

<sup>121</sup> SCHMIEDT, 1975, p. 210.

<sup>122</sup> CARBONNELL, Maurice. **Introduction à L'application de la Photogrammetrie aux Edifices et aux Ensembles Monumentaux Anciens**. In: Proceedings of the Colloquium on the Applications of Photogrammetry to Architecture. Paris: ICOMOS. 1968. 181 p.

<sup>123</sup> FORAMITTI, Hans. **Classical and Photogrammetric methods used in surveying architectural Monuments**. In: Preserving and restoring monuments and historic buildings. Paris: UNESCO, 1972.



Carbonnell apresentou um dos seus mais importantes textos no Colóquio de Saint-Mandé, em junho de 1968, intitulado *Introduction à l'application de la Photogrammetrie aux Edifices et aux Ensembles Monumentaux Anciens*. Neste artigo, ele expõe baseado em sua experiência profissional algumas explicações teóricas e práticas sobre esta ciência. Logo no início ele define fotogrametria como “a técnica que permite reconstruir a forma, as dimensões e a posição de um objeto através da perspectiva desse objeto registrado fotograficamente”.<sup>124</sup> De fato, nas palavras de Carbonnell, à parte de seu valor documental, a fotografia só é útil ao estudo dos objetos quando permite reconstruir o relevo das fachadas pela perspectiva fotográfica, através do processo teórico de reversão do caminho percorrido pela luz para sensibilizar o filme fotográfico e criar a imagem.

Essa reconstituição demanda do técnico especialista o conhecimento das características intrínsecas da câmara empregada, sendo que, em sua opinião, apenas aparelhos construídos para este fim podem ser empregados. A câmara métrica seria este instrumento especial, no qual todos os elementos óticos estariam rigidamente ligados, permitindo o conhecimento *a priori* das características físicas e óticas das lentes usadas.

A principal vantagem no uso da câmara métrica, segundo Carbonnell, é a precisão e a rapidez na restituição da forma de um modo analógico e numa escala métrica, ou seja, a própria imagem fotográfica torna-se o parâmetro de medida, com o mínimo auxílio de qualquer método analítico. Carbonnell trata em seu texto dos métodos fotogramétricos monoscópicos, ou seja, utilizando apenas uma fotografia, métodos fotogramétricos estereoscópicos e aplicações dos métodos fotogramétricos nas elevações de edifícios e monumentos históricos.

No texto de Carbonnell encontramos uma das primeiras indicações detalhadas sobre as aplicações da fotogrametria no estudo da Arquitetura, especialmente na área do patrimônio histórico. Os outros dois especialistas em fotogrametria, Foramitti e Karara, não apresentam o tema sob a mesma ótica operacional. Sem necessariamente se opor a Carbonnell, eles se dedicam principalmente aos métodos de investigação utilizando técnicas fotogramétricas, com ênfase na educação de arquitetos, historiadores e

---

<sup>124</sup> CARBONNELL, 1968, p. 3.

arqueólogos. Incorporando a mínima informação teórica ou prática sobre o assunto, o texto deles não contém fórmulas matemáticas ou descrição de algoritmos computadorizados, resumindo-se à explicação dos métodos da fotogrametria analógica, com a apresentação de alguns equipamentos fotográficos, como câmaras e restituidores analógicos, além de um resumo das condições importantes a serem observadas pelos pesquisadores iniciantes. Foramitti não se contenta, entretanto, em falar apenas sobre a fotogrametria. Na verdade seu texto, publicado no volume XIV da série sobre museus e monumentos da UNESCO, aborda também técnicas e métodos “clássicos” usados no levantamento e na documentação da Arquitetura. Nesse sentido, sua obra é mais abrangente que a de Karara, ainda que não possua o caráter crítico presente na obra de Carbonnell.

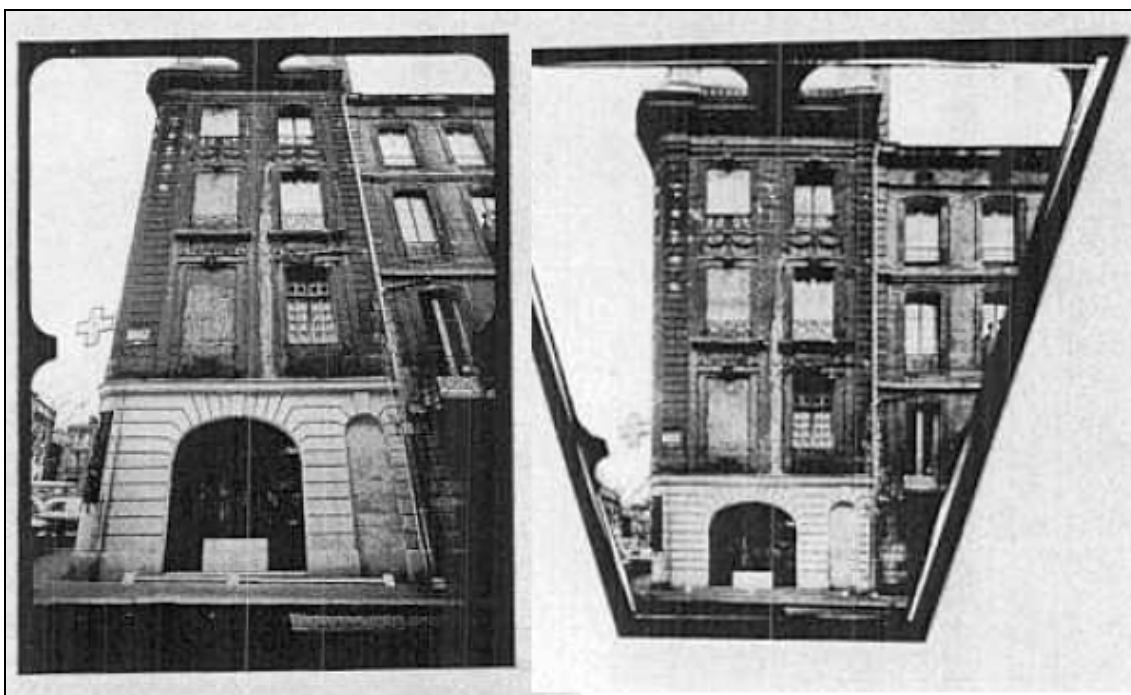


Figura 28: Exemplo de fotografia de um edifício, com inclinação da câmara de 30°, antes e após o processo de orto-retificação. Podemos notar o paralelismo das linhas verticais na fotografia tratada.

Fonte: Carbonnell, Maurice.

O texto de Carbonnell se encontra em consonância com as orientações do Colóquio do ICOMOS de 1968, em Saint-Mandé, que em suas palavras, se preocupou acima de tudo, em definir os diferentes tipos de representações gráficas das fachadas ou relevos, como são mais conhecidos, necessários ao estudo, à conservação e inventariação dos monumentos históricos, oferecendo para isso algumas soluções com a

fotogrametria. Em primeiro lugar, Carbonnell cita o caso dos levantamentos expressos, e simplificado de monumentos isolados ou conjuntos urbanos, onde as tolerâncias podem chegar a 5% das dimensões principais. Nesse caso, ele argumenta, podem ser utilizadas câmaras individuais ou estereométricas, auxiliadas por medidas de comprimento de alguns elementos, correspondentes do objeto fotografado. Esse tipo de levantamento fotográfico tem as seguintes finalidades, propostas por Carbonnell.<sup>125</sup>

- Construções de modelos gráficos de edifícios fazendo a anotação dos pontos principais da sua geometria;
- Restituição geométrica na câmara clara;
- Produção de ortofotos utilizando processos conhecidos e execução das fachadas propriamente dita;
- Restituição fotográfica rápida com estéreo-plotadores.

O principal produto do levantamento de edificações é a própria fotografia que, após um processo denominado orto-retificação, que consiste na transformação das linhas de fuga em linhas paralelas ortogonais entre si, torna-se passível de restituição geométrica. Nesse processo as imperfeições geométricas e informações perspectivicas não atrapalham o estudo sumário da edificação, ou a elaboração de um documento preliminar para qualquer ação de preservação ou restauro do edifício, ou do monumento histórico. Tal ação tem sido ativamente incentivada pelo ICOMOS ao longo dos últimos 30 anos em diversas publicações desta instituição.

As representações detalhadas e precisas demandadas pelos trabalhos de restauração e de determinação das características constitutivas de algumas edificações, ou estatuária, também podem exigir o uso exclusivo de técnicas fotogramétricas. Nesse sentido, a restituição estereoscópica, ou seja, a representação gráfica do objeto gerada com base em pares fotográficos, é indicada como a melhor solução para o registro documental. O resultado desse processo é um traçado objetivo, ainda que o processo admita uma certa interpretação pelo operador das nuances e particularidades das obras arquitetônicas. Carbonnell chama esse procedimento de objetivo exatamente porque através dele se obtém a “representação da forma efetiva do objeto, com suas

---

<sup>125</sup> CARBONNELL, 1968, p. 7.

irregularidades, as modificações ou deformações imprimidas ao edifício desde sua construção e a deterioração ao longo do tempo”.<sup>126</sup> Como já foi tratada em outro momento neste texto, essa abordagem se distingue de forma teórica, ou ideal, concebida pelo arquiteto na projeção e também da forma aparente, apreendida pelo observador a partir de qualquer ponto da rua ou praça. O conhecimento da forma efetiva, “expressão geométrica” do estado atual do edifício, é indispensável a todo estudo técnico sobre a constituição morfológica do objeto. A exigência de uma representação gráfica rigorosamente correta, com as informações precisas de todo e qualquer detalhe do edifício, torna-se cada vez mais atual.

Ao fim de seu artigo, Carbonnell apresenta a possibilidade do uso de fotografias no estudo prospectivo da inserção de novas edificações nos centros históricos, antecipando-se às técnicas de foto-inserção utilizadas atualmente na simulação computacional. Essa operação inversa consiste em mesclar a fotografia de um certo ponto de vista do conjunto urbano com o novo elemento desenhado sobre a imagem a partir da obtenção dos pontos de fuga e da eliminação das distorções da lente da câmara. Essa tarefa, que poderia ser de grande dificuldade nos anos 70, é hoje relativamente simples, graças ao uso intensivo de computadores nos centros de pesquisa. Nos últimos congressos promovidos pela CIPA, alguns artigos relatam trabalhos semelhantes de fotogrametria reversa.

O uso da fotogrametria no estudo da Arquitetura vem sendo discutido sistematicamente desde os anos 50. Os primeiros textos sobre o assunto chamam a atenção para o fato de que a construção de um arquivo fotogramétrico, de amplo alcance territorial e tipológico só é possível no decorrer de vários anos. Se os monumentos históricos em situações de risco iminente precisam de um agenciamento urgente dos profissionais e tecnologias disponíveis, é necessário um planejamento direcionado ao processo de documentação do patrimônio histórico em etapas seqüenciais. O levantamento fotográfico pode ser feito em primeiro lugar, desde que respeitando as regras essenciais para a sua restituição geométrica quando houver necessidade. Registrar as informações visuais através de pares estéreo de fotografias tornou-se o

---

<sup>126</sup> CARBONNELL, 1968, p. 22.

modo mais rápido e econômico para a produção de documentos gráficos detalhados e precisos.

Ao apresentar no workshop da CIPA, em 1999, as bases para um método interdisciplinar de investigação, Boehler<sup>127</sup> assume que a fotogrametria é um dos métodos mais indicados ao registro do patrimônio histórico, mas ressalta que não é o único método disponível atualmente. Desenvolvido pelo *i3mainz*, Instituto de Informação Espacial e Tecnologia de Levantamentos, localizado em Mainz, Alemanha, esse modelo organizacional é voltado principalmente para a documentação do patrimônio cultural, que é a área de atuação do instituto. Considerando o fato de que a grande variedade de projetos existente requer uma diversidade de demandas por precisão, velocidade, novas mídias de arquivamento e apresentação dos resultados, Boehler afirma que ainda não houve uma discussão clara sobre os detalhes desse processo e que muitos pesquisadores envolvidos desconhecem as possibilidades da fotogrametria.

---

<sup>127</sup> BOEHLER, W. **Documentation, Surveying, Photogrammetry**. In: Proceedings of the 17<sup>o</sup> CIPA Colloquium: Mapping and Preservation for the New Millenium. 1999.

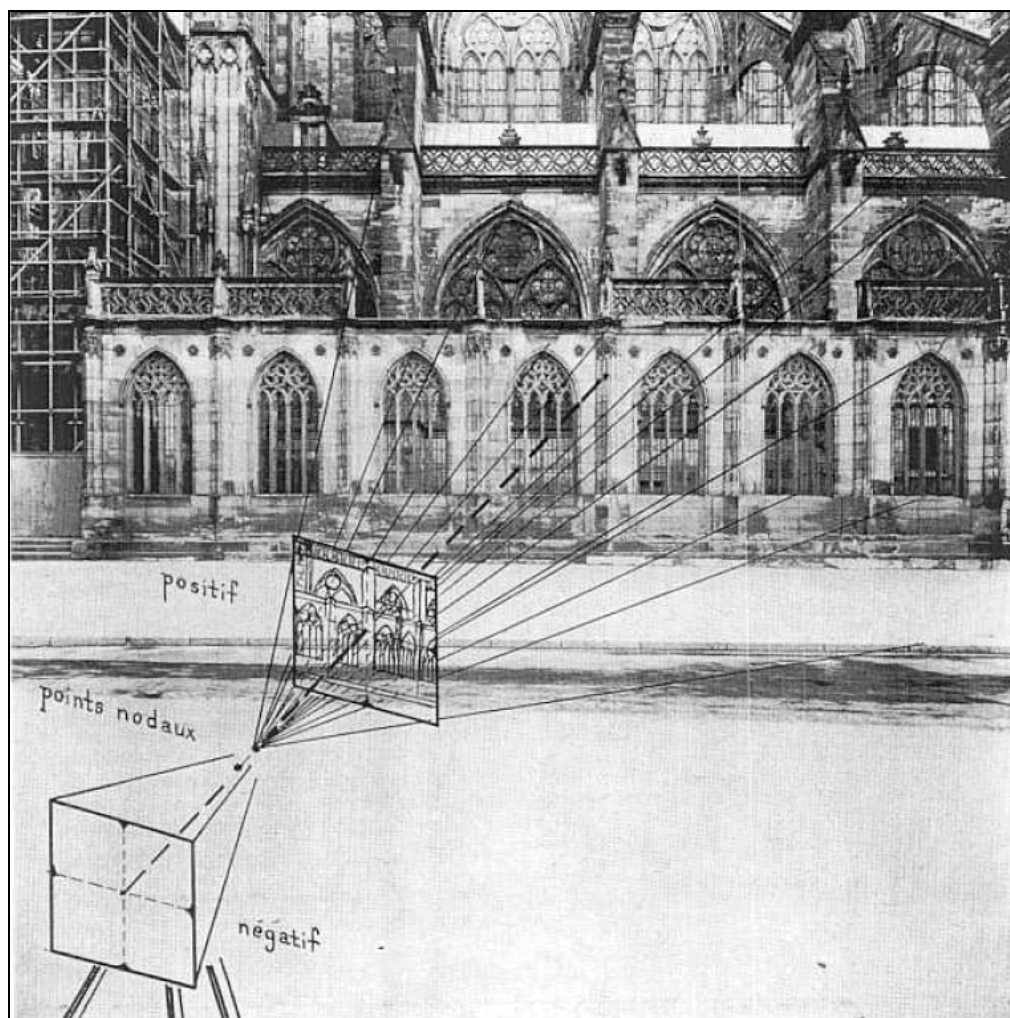


Figura 29: Esquema representando os pontos nodais, ou a objetiva da câmara, de onde partes as linhas da perspectiva, o eixo ótico, o negativo e a posição fictícia de um positivo da imagem.

Fonte: Carbonnell, Maurice.

Apesar de não ser o caso de um estudo das técnicas dedicadas ao estudo exclusivo do monumento histórico, o trabalho de Boehler pode nos trazer alguns elementos importantes sobre o processo de documentação da cidade em geral e da Arquitetura especificamente. Em primeiro lugar, precisamos esclarecer que o registro das formas de um edifício, utilizando qualquer tecnologia disponível, não é um fim em si mesmo. Constitui parte de um projeto mais abrangente, com objetivos bem definidos, no qual os pesquisadores não têm condições técnicas de realizar os levantamentos necessários para o estudo do objeto no seu local de origem. Entre os principais motivos estão: a inacessibilidade ao objeto pelo risco de um desabamento iminente, ou no caso

de grutas interditadas à visitação; a impossibilidade de apreensão visual satisfatória, devido às grandes dimensões do objeto; a inviabilidade de uma pesquisa *in loco*, devido aos limites financeiros do projeto.

Em segundo lugar, é preciso estar atentos para o fato de que o universo de objetos contidos sob o conceito de patrimônio cultural é praticamente ilimitado, com uma grande variedade de tamanhos, complexidade e materiais. Desde reservas ambientais até pequenos artefatos domésticos, o escopo da investigação é a produção cultural do homem. Conhecer os objetivos de determinado projeto significa ter em mente a natureza de cada processo de documentação, visando obter o máximo de eficiência e credibilidade nos levantamentos. O processo de documentação envolve, na maioria das vezes, técnicos especialistas que não têm a dimensão exata das demandas dos arquitetos, historiadores, etc. e realizam levantamentos com características fora do padrão desejado, seja pelo excesso ou pela carência de informações. Devido principalmente às limitações nos prazos e custos operacionais, mesmo em países desenvolvidos, as demandas por precisão e intensidade de detalhes estão comprometidas. Em consequência disso, no planejamento devem ser considerados os objetivos de cada projeto tendo em vista as características dos elementos estudados e dos métodos e técnicas de levantamento disponíveis.

### **3.4.5 A Simulação a partir de Tecnologias de Investigação Não-Ótica**

Os levantamentos arquitetônicos e urbanísticos, realizados ao longo das últimas décadas, compreendem diversos tipos de relatórios ou publicação: informações textuais, de caráter histórico, ou analítico-descritivo, descrevendo as relações entre o objeto e o meio cultural e geográfico no qual está inserido; informações gráficas, como fotografias, vídeos, plantas, mapas, modelos tridimensionais, inserindo o objeto num sistema de coordenadas geográficas; e, finalmente, as informações sintetizadas a partir registros “não-óticos”, utilizando aparelhos de raios-X, infravermelho e ultra-som, entre

outros, com o objetivo de se obter material para a verificação do estado de conservação, composição química e detalhes não visíveis nos objetos.

As representações gráficas resultantes de um processo computacional envolvem sensores “não-óticos”. A produção deste tipo de imagem visual pode ser realizada através de diversas tecnologias, desde a fotografia tirada por uma câmara fotográfica até a realização de uma tomografia computadorizada. Nesse caso específico, nos limitaremos às imagens sintetizadas produzidas por sensores “não-óticos”, cuja utilização nos processos de documentação do patrimônio cultural é mais freqüente do que se imagina. Equipamentos utilizando tecnologia de ponta, como radar de impulso, ultra-som, raios-X ou infravermelho têm ajudado na detecção de falhas construtivas nas edificações e monumentos históricos nas últimas duas décadas. Na maioria das vezes estas imagens se apresentam como gráficos sofisticados e não como fotografia. Exatamente por utilizarem sensores não-óticos, as informações captadas precisam de uma interface digital para transformar o modelo virtual em uma apresentação visual através de um monitor CRT.

Apenas um exemplo: em 2005 um grupo de pesquisadores da Cornell University, coordenado por Robert Thorne,<sup>128</sup> descobriu inscrições gravadas numa pedra há mais de 2000 anos, usando uma técnica chamada fluorescência de raios-X. As inscrições haviam desaparecido com os séculos, sendo expostas novamente com a utilização desta tecnologia, que possibilita ao pesquisador ver as imagens desgastadas pelo tempo a olho nu. Segundo Thorne, no passado os arqueólogos e outros estudiosos que desejassem estudar artefatos antigos estavam limitados a tecnologias baseadas na luz visível, incapazes de alcançar o resultado desejado.

Robert Demaus,<sup>129</sup> um especialista na detecção de patologias estruturais em edificações, em seu artigo sobre investigação “não-destrutiva” afirma que o emprego de métodos de investigação pode economizar dinheiro e evitar danos físicos às edificações antigas, por falta de conservação ou inspeções inadequadas. Em seu texto, Demaus

---

<sup>128</sup> Disponível em: <<http://www.wired.com/news/technology/0,1282,68592,00.html>>.

Acessado em 24, agosto, 2005.

<sup>129</sup> DEMAUS, Robert. **Non-Destructive Investigations**. In: The Building Conservation Directory, 1996.



afirma que a observação atenta ainda é a melhor ação preventiva de acidentes e danos materiais ao patrimônio edificado, mas indica o uso de algumas tecnologias disponíveis para comprovar falhas estruturais, ou superficiais, de modo mais preciso e rápido. Ele cita, por exemplo, o uso de *radar de impulso*, um equipamento desenvolvido para uso militar, que possibilita localizar e medir vazios, falhas internas, dutos antigos de chaminés e outros tipos de descontinuidades na estrutura de um edifício. Ocorre com essa tecnologia um fato que se repete com diversas outras tecnologias de investigação não-ótica, que é a complexidade na representação dos dados registrados. A interpretação dos resultados exige a participação de um especialista, para evitar erros e garantir a confiabilidade do processo.

Finalizando, Demaus faz uma analogia à medicina, referindo-se à necessidade de um conhecimento teórico e prático sobre o objeto a ser analisado, no caso as edificações e suas possíveis patologias. Naturalmente, a comparação do edifício a um corpo é uma analogia recorrente na arquitetura, e que ganha ênfase com a utilização de sensores ‘não-óticos’, como ultra-sons, infra-vermelhos e ultra-violetas, por exemplo. De fato, se apenas um especialista pode ser indicado para a investigação através de tecnologias avançadas, é desejável que os arquitetos tenham conhecimento das interfaces, tanto na forma de programas computacionais, quanto na forma de equipamentos eletrônicos, objetivando a obtenção dos documentos necessários.

## 4 DA REPRESENTAÇÃO À SIMULAÇÃO: DO ANALÓGICO AO DIGITAL

### 4.1 Do analógico ao digital

A tecnologia que permitiu a fixação da imagem numa superfície sensibilizada quimicamente marcou o início da fotografia. A automatização das técnicas de figuração e os elementos químicos necessários à fixação e revelação da imagem estabeleceram um novo paradigma. Já não era mais o olho que funcionaria como centro de projeção da imagem, imobilizado, frente ao fundo polido da câmara obscura. Agora é o conjunto ótico da câmara que atua como filtro da passagem da luz para sensibilizar o filme. Apesar da distorção geométrica e tonal intrínseca das lentes, do brilho e da granulidade do papel, a fotografia tem sido mitificada pela analogia com o referente, pela realidade em si mesma materializada no papel por meio da luz. Na verdade não há como discordar que a fotografia analógica mantém com o objeto uma relação indicial, onde a superfície iluminada marca o papel sensibilizado. Se o fotógrafo decidisse apertar o botão do obturador por duas vezes seguidas, sem acionar a alavanca que avança o filme, o que ocorrerá? Duas imagens sobrepostas em camadas, aderidas de tal maneira ao papel que seria impossível recuperar uma imagem sem perder a outra. Esta aglutinação diacrônica, este desvio da formação da imagem que impediria atestar uma única verdade, reflete paradoxalmente a relação indicial entre o signo e o objeto.

Em oposição, isso seria improvável de ocorrer na operação de uma câmara digital. No momento mesmo do acionamento do obturador, a imagem não é mais projetada no negativo sensibilizado quimicamente. Um outro tipo de interface, duplamente caracterizado como hardware e software, se coloca entre o operador e o alvo fotográfico. Um conjunto de sensores eletrônicos fotossensíveis – CCD<sup>130</sup> – captura, por assim dizer, a luz que passa pela objetiva e a codificam em dados binários, que são gravados no cartão de memória assim que o botão do obturador é acionado. De

---

<sup>130</sup> CCD: *Charge Couple Device*.

fato, na maioria das câmaras digitais não há mais o conjunto de lâminas que compõe o obturador, responsável pelo controle da quantidade de luz que sensibilizaria o negativo, em parte porque este controle seria feito pela programação de parâmetros através de seqüências de comandos e não mais se ajustando na própria objetiva, como na câmara analógica. A imagem arquivada no chip de memória da câmara digital não está mais ao alcance da retina e no controle do fotógrafo enquanto código binário sendo, desse modo, impossível conseguir sobrepor a uma imagem existente outra no momento mesmo da exposição, simplesmente porque não seria possível mapear sobre os mesmos *bits* duas informações distintas. É somente com a decodificação, processo computadorizado e automatizado, que o objeto uma vez fotografado volta a ser imagem sensível aos olhos do fotógrafo e apta à manipulação subjetivada. Desse modo, as falhas, as distorções e os erros adicionados à fotografia analógica, no momento da exposição, não são na verdade impossibilitados pela fotografia digital. Eles são, por assim dizer, transportados para o momento da apresentação, da decodificação da imagem.

Enquanto a fotografia analógica está conectada ao “isto foi”, a fotografia digital seria identificada pelo “isto poderia ter sido”. Se na fotografia analógica a imagem sempre traz consigo o referente, ambos atingidos pela mesma imobilidade amorosa ou fúnebre, como diz Barthes,<sup>131</sup> paradoxalmente, a mesma imagem torna-se uma representação superficial e abstrata do objeto. Ao mesmo tempo em que atesta a ocorrência do fato, a representação é sempre fragmentada e deformada, no sentido de mostrar algo inicialmente irreconhecível aos olhos pela própria representação de um real não codificado de antemão. É quando a legenda se faz necessária para identificar na imagem fotográfica o que os nossos olhos não vêem, devido ao enquadramento, ao tipo de lente, à sensibilidade do filme, e a forma como todos estes elementos constroem a estrutura da linguagem fotográfica. A imagem fotográfica, tanto analógica como digital, torna-se, assim, dependente de uma interpretação, de acordo com regras e padrões pré-estabelecidos, como em qualquer linguagem.

Parece-me que, apesar das dificuldades de diferenciação e de classificações apropriadas, a imagem digital evidencia algumas questões que na imagem analógica

---

<sup>131</sup> BARTHES, Roland. **A Câmara Clara**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1984.

estavam marginalizadas e, na maioria das vezes, deturpadas pela ligação excessiva ao referente. É bem provável que algumas simulações poderiam ser elaboradas sobre fotografias analógicas no momento da exposição do filme, ou mesmo no processo de revelação, mas só a imagem digital possibilitou que essa manipulação atingisse níveis extremos de flexibilidade. A unificação do registro e da representação sob o mesmo código numérico, programado e operacionalizado fora do alcance dos nossos olhos. Podemos encontrar um exemplo num campo da ciência exata muito discutido: a visão computacional, o estudo do reconhecimento automático de imagens através de inteligência artificial. Na maioria dos casos os pesquisadores trabalham com imagens digitais do mundo, que servirão de base para que instruções programadas pelo computador reconheçam e decodifiquem as informações apresentadas em cada *pixel* da imagem, resultando numa transformação topológica da imagem. O modelo tridimensional apresentado na tela do computador é o resultado de uma interpretação dos códigos binários de cada *pixel*, que são decodificados na forma de valores topológicos onde cada ponto da imagem, constituído de padrões *RGB*, corresponde a uma dimensão da superfície do objeto simulado.

De fato, o referente continua existindo tanto na simulação digital quanto na representação analógica. No entanto, dois aspectos tornam a imagem numérica distinta da imagem analógica; em primeiro lugar, a maneira pela qual ela é produzida, apresentada, arranjada; em segundo lugar, a maneira pela qual ela é visualizada, interpretada, distribuída. Exatamente por esmaecer a ligação indicial entre signo e objeto, a imagem digital torna-se dependente de um conjunto de interfaces e do modo como os usuários as utilizam para a sua interpretação. Em outras palavras, o olhar do outro atribui novos significados a todo o momento aos modelos simulados e é nessa multiplicidade de interpretações que ocorrem as transformações na relação da simulação. A simulação se opõe à representação, ela substitui aquilo que foi por aquilo que poderá ser, o acontecimento pelo seu devir.

Assim, a oposição analógico/digital ocorre em dois níveis: no nível da tecnologia da formação da imagem e no nível das técnicas de operacionalização relativas à figuração e à simulação computadorizada. A analogia pode referir-se tanto a uma semelhança figurativa entre o mundo físico e sua representação, como também

pode ser entendida como um processo técnico e a tecnologia subjacente. Ao falar da tecnologia analógica em oposição à tecnologia digital, poderíamos enfatizar o fato de que, enquanto a primeira é evidenciada pelos seus suportes materiais, mecânicos e táteis, a segunda se caracterizaria pela volatilização cada vez maior dos dispositivos de processamento de informações. Nas palavras de Lévy, o suporte da informação torna-se infinitamente leve, móvel e maleável. O próprio conceito de volátil está presente no funcionamento da memória RAM, que armazena e processa informações apenas quando os circuitos são alimentados por corrente elétrica.

#### 4.1.1 O analógico em Lascaux



Figura 30: Interior da caverna de Lascaux.

Fonte: <http://www.culture.gouv.fr/culture/arcnat/lascaux/en/>

Lascaux, 1940. Quatro garotos descobrem o que seria um dos mais importantes monumentos pré-históricos do século XX.<sup>132</sup> Grandes vacas vermelhas, cavalos amarelos, búfalos e bisontes negros são representados em movimento desordenado numa grande superfície do grande salão dos búfalos, inacessível para o mundo durante

---

<sup>132</sup> Para maiores informações, ver: <http://www.culture.gouv.fr/culture/arcnat/lascaux/en/>

milhares de anos. Após 15 anos desde a primeira visão de Marcel Ravidat, milhões de pessoas visitaram a caverna de Lascaux, até que as primeiras indicações de deterioração das pinturas aparecessem. A alta concentração de gás carbônico e vapor d'água devido à respiração dos visitantes provocaram uma alteração no microclima da caverna, que foi interdita em 20 de abril de 1963. Após 20 anos, em 1983, uma réplica do grande salão dos búfalos e da galeria pintada da caverna de Lascaux é aberta ao público.

Concentraremos-nos apenas nas questões técnicas da reprodução geométrica da caverna. Como foi possível a construção da réplica de Lascaux? Sob que realidade tecnológica? Utilizando-se quais técnicas? Apesar de encontrarmos evidências na década de 1980 de avanços tecnológicos, tanto nas áreas de levantamento de edificações quanto na construção civil, a modelização da réplica de Lascaux evoca o uso intensivo de técnicas analógicas, que poderíamos chamar hoje em dia de técnicas tradicionais em oposição às técnicas avançadas. A fotogrametria analógica pode ser entendida na atualidade como um conjunto de técnicas tradicionais para a representação e medição do mundo, em oposição à fotogrametria digital. O levantamento fotográfico, a restituição da geometria utilizando a câmara clara ou o aparelho de restituição eletro-mecânico e o plotador servo-mecânico que desenha as elevações dos edifícios podem ser identificados como os mecanismos que atuam na formação da imagem por analogia. E, nesse caso, são extensões das habilidades humanas, mas são pertencentes a um conjunto de tecnologias que impelem o técnico especialista a participar constantemente do processo de levantamento, registro, desenho e construção. É o homem quem guia os instrumentos relacionados a estes procedimentos e não um programa computadorizado. Talvez essa seja a essência da tecnologia analógica da qual falamos.

Após o processo de documentação, iniciou-se a construção da réplica da caverna de Lascaux a partir do “fatiamento” do modelo geométrico obtido a partir do levantamento fotogramétrico da caverna. Na prática, esta técnica consistiu em se construir segmentos com 50 centímetros de largura e conectá-los no local definido no projeto. Cada segmento era único, modelado a partir de uma malha metálica tão fina que permitiria a fixação da argamassa sem necessidade de qualquer suporte adicional. Uma vez conectados, os segmentos formaram o *continuum* da caverna, possibilitando a reprodução das pinturas rupestres originais através de técnicas de projeção. Toda a

superfície da caverna original foi fotografada, de acordo com uma matriz de coordenadas, sendo que as imagens foram, na mesma seqüência do registro, projetadas nas paredes de Lascaux II, para o início do trabalho dos pintores.

#### 4.1.2 O digital em *Altamira*

Altamira<sup>133</sup> é considerada uma das cavernas mais famosas do mundo, por conter um dos conjuntos de pinturas rupestres mais impressionantes e diversificados entre todas as cavernas datadas do período paleolítico. Descoberta em 1879, a caverna contém em seu interior quase 200 representações de animais, incluindo bisontes, cavalos e homens, entre outros. Em 1978 a caverna foi interditada para proteger as pinturas dos agentes químicos danosos, que eram liberados pela alta concentração de pessoas no seu interior. Na década de 1980, de modo semelhante a Lascaux, foi sugerido que se construísse uma réplica da caverna, para garantir a conservação do original. Entretanto, apenas no fim dos anos noventa, foram realizados os primeiros estudos para a construção de um edifício, o Museu de Altamira, que conteria no seu interior um modelo idêntico ao original dos principais espaços da caverna.

Ao contrário de Lascaux, em Altamira foi utilizada a mais avançada tecnologia digital e os mais sofisticados instrumentos tecnológicos disponíveis. O modelo final foi construído a partir do escaneamento do interior da caverna utilizando-se um aparelho denominado *laser scanner*. Assim, podemos afirmar que a duplicação foi obtida sem empregar construções analógicas mediadas pelo homem, mas, sim, concentradas no processamento computadorizado. Os dados armazenados no aparelho eram transferidos para o computador, onde o trabalho do operador consistia em “costurar” moldes digitalizados para serem, em seguida, transportados a um equipamento construtor de modelos, um “escultor robotizado”, um equipamento que transformava blocos de espuma rígida em formas esculturais.

---

<sup>133</sup> [http://museodealtamira.mcu.es/cueva\\_altamira.html](http://museodealtamira.mcu.es/cueva_altamira.html)

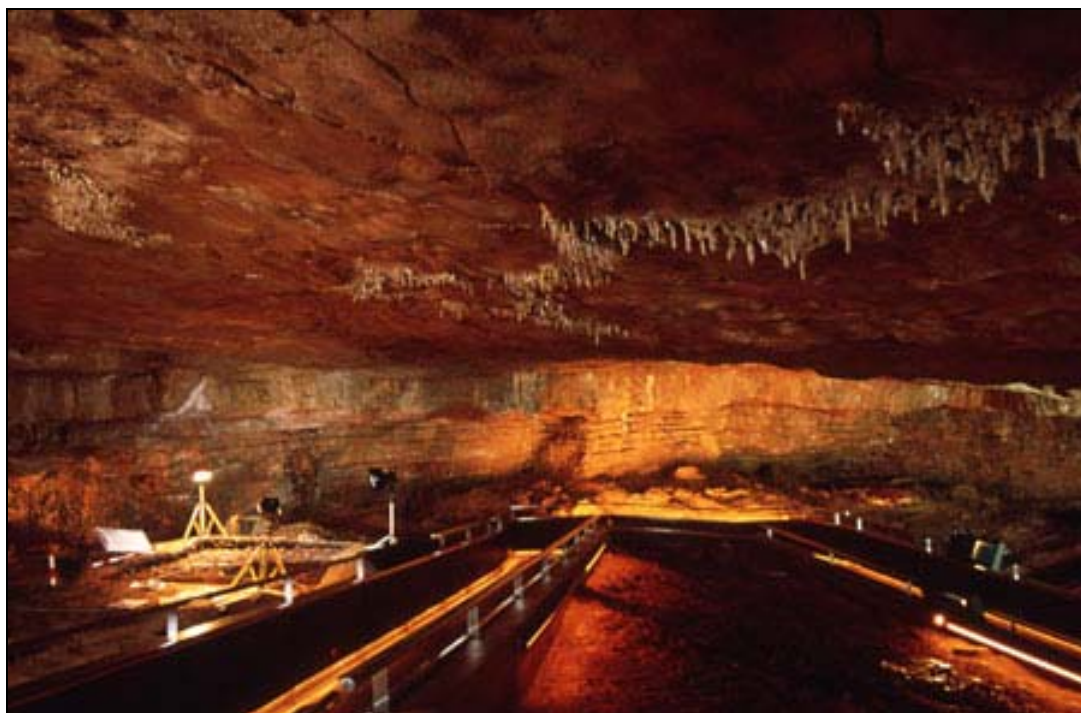


Figura 31: Interior da réplica da caverna de Altamira.

Fonte: [http://museodealtamira.mcu.es/cueva\\_altamira.html](http://museodealtamira.mcu.es/cueva_altamira.html)

A seqüência construtiva utilizada em Lascaux se modifica brutalmente em Altamira. Do analógico ao digital, não há somente a transformação dos aparatos técnicos, mas também do *modus operandi*, onde as operações de fotografar, restituir, plotar e moldar são substituídas por escaneamentos semi-automatizados, cálculos computadorizados, simulações e modelizações. Se a presença do referente está em ambas as situações expostas, na segunda opção esta presença é contingente, quer dizer, ela não influencia no processo de codificação e decodificação digital da máquina. Uma vez na memória do computador, os cálculos necessários para a visualização e montagem do modelo seguem o fluxo de um programa computacional, retornando os resultados automaticamente. O referente é imprescindível no modelo de Lascaux: mais do que figurativo ele é funcional, porque neste caso a produção da réplica se traduz em processos que reforçam o análogo. O próprio ato de incrustar Lascaux II numa escarpa poderia ser interpretado como uma alegoria desse processo.



## 4.2 Imagem Cálculo: o *Pixel*

Numa cena clássica de *Blade Runner*, o policial Deckard escolhe uma das “fotos de família” do *replicante* Leon para ser analisada numa espécie de computador bastante avançado, ativado pela voz, conhecido como *Esper Machine*.<sup>134</sup> Com esta máquina Deckard deseja obter inicialmente ampliações de algumas áreas confusas da foto. Através de comandos vocais Deckard posiciona um cursor sobre a tela, ditando coordenadas e ações ao computador, que rastreia a imagem digitalizada, selecionando regiões a ampliar, como mostra um trecho do roteiro:

[Apartamento de Deckard, ele usa o computador Esper]

Deckard: Aumente 224 a 176. Aumente, pare. Aproxime, pare. Recue, gire à direita, pare. Centralize, recue. Pare. Gire 45° à direita. Pare. Centralize e pare. Aumente 34 a 36. Vá para a direita e recue. Pare. Aumente 34 to 46. Afaste. Espere, vá para a direita, pare. Aumente 57 a 19. Gire 45° à esquerda. Pare. Aumente 15 a 23. Dê-me uma impressão agora.<sup>135</sup>

O que a princípio se revela uma análise detalhada da imagem fotográfica, transforma-se numa simulação computacional, onde o tempo congelado na fotografia torna-se dinâmico frente ao modo dialógico de operação, onde Deckard vê a cena como se ele estivesse realmente lá no momento do instantâneo. É interessante observar que a fotografia passa de analógica à digital, da representação à simulação, ao longo de um processo totalmente automatizado, independentemente do uso de comandos específicos. O acontecimento fotografado, congelado no tempo, é substituído pela eventualidade do

---

<sup>134</sup> *Esper Machine* é o nome dado ao dispositivo que amplia a fotografia e opera a investigação da mesma, no apartamento de Deckard, sob o seu comando vocal. Embora esse nome não seja explicitado no filme, consta no roteiro original, sendo que vários autores denominam a seqüência da investigação da fotografia a partir do nome do referido aparelho, o que pode ser conferido em textos como os de Scott Bukatman, Daniel Pimley, ou em sites especializados no filme, como <http://www.bladezone.com>.

<sup>135</sup> [Deckard's apartment, Deckard uses the Esper machine]

Deckard: Enhance 224 to 176. Enhance, stop. Move in, stop. Pull out, track right, stop. Center in, pull back. Stop. Track 45 right. Stop. Center and stop. Enhance 34 to 36. Pan right and pull back. Stop. Enhance 34 to 46. Pull back. Wait a minute, go right, stop. Enhance 57 to 19. Track 45 left. Stop. Enhance 15 to 23. Give me a hard copy right there.

modelo simulado, onde o espaço por trás da tela torna-se tangível, tornando visíveis mesmo os objetos oclusos na foto original. Deckard modifica a perspectiva inicial da fotografia iniciando, de modo interativo, uma imersão no espaço simulado. A máquina vai além de servir de extensão à visão do usuário, ela se torna uma extensão da sua mente, porque agora ele adentra o que antes era imagem, que se torna agora simulação hiper-real do dispositivo fotográfico. O olhar não passeia mais pelo espaço de uma imagem bidimensional. A partir de agora segredos inusitados podem ser revelados, movimentos, ampliações e novos pontos de observação são permitidos, graças a uma ampliação do mundo cognoscível mediada pelo reconhecimento da fala, pela interatividade, pelo processamento da imagem, pela modelização tridimensional, enfim, por todas as interfaces interconectadas da tecnologia digital.

Como bem adverte Elissa Marder,<sup>136</sup> a máquina ultrapassa as fronteiras temporal e espacial do objeto fotográfico. Em outras palavras, este aparato prescinde da fotografia enquanto prova documental, pois a imagem do passado é suplementada por imagens presentes aperfeiçoadas pelo movimento e pela perspectiva sintetizada. A transformação operada na fotografia pelo *Esper Machine* seria improvável mesmo com toda a tecnologia disponível nos tempos atuais. No entanto algumas pesquisas em andamento, que estudam a reconstrução de modelos tridimensionais a partir de fotografias automaticamente, podem se aproximar muito da seqüência do filme.

---

<sup>136</sup> MARDER, Elissa. Blade Runner's Moving Still. *Camera obscura*, n. 27, p. 88-107, 1991.



Figura 32: Esper Machine, a máquina usada por Deckard no filme *Blade Runner* para investigação de crimes.

Fonte: <<http://www.bladezone.com>>

Podemos chamar de “imagem matriz” à imagem produzida a partir de processos computacionais, oriundas do tratamento automático da informação, e visualizada através da tela de um computador, de hologramas, ou mesmo de impressões digitais. Na visão de Julio Plaza,<sup>137</sup> elas são as imagens de terceira geração, que se seguem às imagens fotográficas e às imagens de tradição pictórica. Ele considera que as novas tecnologias da comunicação não são mais fundamentadas nos domínios de sistemas artesanais ou mecânicos e, sim, nos sistemas eletrônicos e digitais.

Desde a invenção da perspectiva de projeção central, a busca pela automatização na produção da imagem percorreu ao longo dos tempos dois caminhos paralelos, onde se procurava, ao mesmo tempo, o máximo de automatização e o domínio completo do elemento mínimo constituinte da imagem. A televisão, de acordo com Couchot,<sup>138</sup> foi o instrumento capaz de decompor a imagem produzida pela câmara eletrônica e reconstituí-la num mosaico luminoso, que, por síntese aditiva, poderia

<sup>137</sup> PLAZA, Julio, As imagens de Terceira Geração, Tecno-Poéticas. In: PARENTE, A. (org.) **Imagem Máquina** – A Era das Tecnologias do Digital. Rio de Janeiro: Ed. 34. 2004. p.72-88.

<sup>138</sup> COUCHOT, Edmond. Da Representação à Simulação: Evolução das Técnicas e das Artes da Figuração. In: PARENTE, A. (org.) **Imagem Máquina** – A Era das Tecnologias do Digital. Rio de Janeiro: Ed. 34. 2004. p. 37-48.

reproduzir qualquer cor do espectro visível. Mas ainda não era possível controlar os pontos luminosos constituintes da imagem televisiva; faltava ao mosaico eletrônico ser completamente ordenado, a ponto da imagem ser numerizada, quer dizer, associada a uma matriz matemática de coordenadas espaciais, produzida de modo automático. O computador foi o instrumento capaz de permitir não apenas dominar o *pixel*, que poderia ser entendido como resultado da pesquisa por uma unidade mínima altamente controlável por uma matriz numérica, mas também proporcionou a substituição do “*automatismo analógico* das técnicas televisuais pelo *automatismo calculado*, resultante de um *tratamento numérico* da informação relativa a imagem”.<sup>139</sup>

Ao registrar na memória do ENIAC<sup>140</sup> (*Electronic Numerator, Integrator, Analyzer and Computer*) as primeiras instruções codificadas que substituiriam o trabalho dos operadores, o matemático Von Neumann criou condições tecnológicas para o nascimento da informática como ciência das linguagens de programação. Inicialmente dedicadas ao uso militar e à execução de cálculos muito específicos, essas máquinas foram transformadas em mais do que calculadoras, em máquinas de cálculo universal, cada vez mais dedicadas ao processamento de informações complexas de origem não-matemática. A necessidade de processamento e distribuição da informação, cada vez mais eficaz, deu origem à lógica binária. O *bit*, contração de Binary Digit, é a medida mínima de qualquer dado codificado e determina apenas duas escolhas possíveis: ligado ou desligado, 0 ou 1. O *bit* garante que quaisquer informações escritas, sonoras ou visuais possam ser transformadas em uma seqüência codificada pelo computador, e vice-versa, possibilitando a veiculação das mensagens em suportes de natureza diversa. O *bit* adquire a característica de interface digital elementar, suporte universal das imagens, textos, sons, enfim, todas as extensões informatizadas do nosso pensamento.

O *pixel*, abreviação de *picture element*, traduz a matriz numérica armazenada na memória da máquina em pontos de luz colorida na tela do computador. “O *pixel* autoriza a passagem do número à imagem”, diz Couchot. Em outras palavras, há sempre

---

<sup>139</sup> COUCHOT, 2004, p. 38.

<sup>140</sup> O ENIAC foi o primeiro computador operacional, pesando várias toneladas e ocupando um andar inteiro de um grande edifício, era programado através de cabos que conectavam diretamente os circuitos eletrônicos.

uma matriz matemática subjacente a uma imagem digital, capaz de realizar as operações correspondentes para a sua construção a partir de um modelo preexistente. Pontual na estrutura do modelo simulado, o *pixel* contém informações diversas sobre a cor, a posição e a rotação, entre outras, dependendo do sistema utilizado.

Para Pierre Lévy<sup>141</sup>, a digitalização é a principal tendência das técnicas de processamento de informações. Ao progredir, a digitalização conecta no centro de um mesmo tecido eletrônico todas as diferentes categorias de apresentação da informação. A codificação digital relega a um segundo plano o valor do suporte material, quer dizer, todos os instrumentos técnicos necessários à materialização da informação “tendem a libertar-se de suas aderências singulares aos antigos substratos”, pelo menos enquanto meios digitais. Isso possibilitaria, nas palavras de Lévy, “trabalhar com a imagem e o som tão facilmente quanto trabalhamos hoje com a escrita, sem necessidade de materiais de custo proibitivo, sem uma aprendizagem excessivamente complexa”. Para explicitar as funcionalidades das diversas interfaces no centro da rede digital informatizada, ele apresenta um quadro denominado: “a circulação das interfaces no começo do terceiro milênio”. Quatro grandes funções são definidas: a produção, ou composição de dados ou representações áudio-visuais; a seleção, recepção e tratamento dos dados; a transmissão dos dados; e, finalmente, as funções de armazenamento.<sup>142</sup>

### 4.3 O conhecimento por simulação

Couchot afirma que as imagens de *síntese* são reconhecíveis por duas características essenciais: elas são calculadas pelo computador e são capazes de interagir com o usuário. Desse modo, o computador tornou-se a máquina de tratamento automático da informação por excelência e sua conexão a dispositivos de entrada, como o teclado e o *mouse*, e de saída, como o monitor CRT e a impressora, potencializaram sua capacidade de comunicação com o usuário. Aparentemente paradoxal, a relação

---

<sup>141</sup> LÉVY, 2004, p. 101.

<sup>142</sup> LÉVY, 2004, p. 103

automatismo/interatividade ocorre sob camadas distintas da execução de um comando, em sincronismo. Enquanto o acesso aos menus de um programa é no modo dialógico, interativo, as operações computacionais são automatizadas, o que não quer dizer que um programa completamente automatizado não seja interativo, ou vice-versa.

A produção de imagens de síntese constitui-se, entretanto, como um subproduto, ainda que decisivo, do processo de digitalização, segundo ele, “a ambição dos cibernéticos e dos informáticos era, na realidade, desde as primeiras calculadoras, simular artificialmente o pensamento, a inteligência”. A interatividade tornada possível pelas diversas camadas de interfaces de *hardwares* e *softwares* que estruturam o computador modifica radicalmente a natureza das informações visuais, sonoras e textuais apresentadas. Assim, o autor é também usuário, possibilitando a mesma experiência comunicacional, tanto na criação quanto na apreensão da obra, através de uma linguagem cada vez mais homogênea, a dos *softwares*.

Se a figuração por projeção se limita ao aspecto visível do real, a simulação numérica reconstrói o real a partir da linguagem codificada dos computadores, especialmente no percurso do devir virtual que conhecerá nas interações com o observador. O conceito de simulação está, como já foi dito, intimamente relacionado com o de interatividade, de modo que o modelo computacional demanda por uma comunicação funcional entre o usuário e a máquina, em tempo real. Desse modo, o uso da simulação como catalisador do processo cognitivo, quer dizer, como amplificador da memória curta e do raciocínio, tem se estendido a uma velocidade cada vez maior em quase todos os campos científicos. Lévy considera que a simulação computacional permite ampliar a imaginação, atuando como uma “ferramenta de ajuda ao raciocínio muito mais potente que a velha lógica formal que se baseava no alfabeto”.<sup>143</sup> Ele ainda opõe a simulação à teoria, afirmando que “enquanto a teoria se encarrega de produzir uma rede de enunciados auto-suficientes”, objetivos e passíveis de interpretação consistente, ou seja almejando a verdade e universalidade, à simulação correspondem as etapas de raciocínio mental anteriores à escrita. Os modelos usados nas simulações servem para satisfazer critérios de pertinência do aqui e agora, devem ser

---

<sup>143</sup> LEVY, 2004, p. 124.

circunstanciais no momento da construção do modelo, mas também podem ser persuasivos no momento da visualização da imagem na tela do computador. A criação de *softwares* para simuladores dedicados, principalmente no caso de aeronaves, trens e veículos especiais, popularizou de tal maneira seu uso que a simulação chega a ser, de modo equivocado, considerada superior à realidade.

Lévy afirma que a memória se encontra tão objetivada em dispositivos técnicos automatizados, tão separada do corpo dos indivíduos ou dos hábitos coletivos que a exigência de reorganização em tempo real não se limita aos processos produtivos, mas visa também aos agenciamentos cognitivos pessoais.<sup>144</sup> Os conhecimentos podem novamente ser objetos de transformações operacionais, graças aos programas de simulação e de modelização computadorizada. O saber informático se afasta tanto da oralidade primária, quanto da teoria nascida da escrita: ele procura a velocidade e a pertinência operacional. Em oposição ao modo analógico de conhecimento, um modelo digital não é lido ou interpretado como um texto escrito sobre papel, mas sim explorado de forma interativa. Para Lévy, o modelo informático é, na sua essência, plástico, dinâmico, quer dizer, dotado de uma certa autonomia de ação e reação.

Dentro da Arquitetura, os programas de projetos auxiliados por computador (CAD) são os referenciais mais próximos ao conceito de simulação existente. Nicholas Negroponte<sup>145</sup> foi um dos primeiros teóricos a se pronunciar sobre as diferenças entre um sistema CAD e qualquer outro sistema computacional onde não haja a necessidade premente de uma retroação da informação, ressaltando que a interatividade é uma condição necessária para o conhecimento por simulação. Em seu livro *The Architecture Machine*, podemos perceber que computação gráfica não é o mesmo que um sistema de projeto auxiliado por computador. Para Negroponte, “não importa o quão sofisticado seja o sistema computacional, é apenas um quadro negro admirável ou um pedaço de papel, ainda que possivelmente tridimensional, até que evidentemente “responda” e participe de fato do diálogo”.<sup>146</sup> As possibilidades de testar novas inserções em edifícios e conjuntos urbanos, bem como a resistência de novos materiais às condições climáticas

---

<sup>144</sup> LÉVY, 2004, p. 118.

<sup>145</sup> NEGROPONTE, Nicholas. *The Architecture Machine*. Massachusetts: MIT Press, 1970.

<sup>146</sup> NEGROPONTE, 1970, p. 37.

e a diversidade de esforços mecânicos, tem estimulado o uso cada vez mais freqüente de simulações digitais. Mantendo o foco apenas na Arquitetura podemos imaginar o quanto seria economizado em processos de tentativa e erro para o desenvolvimento de novos projetos e pesquisas. Ainda em Negroponte, vemos como a simulação computadorizada de eventos pode beneficiar a Arquitetura em dois momentos distintos. Em primeiro lugar, se o usuário não tem conhecimento dos aspectos ambientais de um evento, ele pode descobrir empiricamente uma série de ações e reações através das quais ele poderia de modo intuitivo elaborar hipóteses e algoritmos aplicáveis a outros contextos. Um exemplo dessa abordagem seria a aplicação de variáveis conhecidas num sistema de circulação viária na forma de uma instrução matemática no computador. Assim, quando a máquina, nas palavras de Negroponte, usando estas regras, constrói sistemas de circulação utilizando os parâmetros conhecidos, revela as divergências entre o que deveria ser e o que eventualmente é, possibilitando correções e a formulação de novas hipóteses. Em segundo lugar, presumindo que as regras estão corretas, tendo sido formuladas em conjunto com o computador, ou independentemente, o usuário poderá comprovar sua hipótese num determinado contexto. Negroponte, na década de 1970 já acreditava que arquitetos e urbanistas poderiam ver, em monitores de vídeo, simulações de engarrafamentos, colisões ou movimentos de pedestres nos cruzamentos das cidades.<sup>147</sup>

Assim, com os programas orientados para objetos referenciados por Lévy, em que entidades distintas são capazes de realizar certas ações e de se comunicar umas com as outras, “a relação com o modelo não consiste mais em modificar certas variáveis numéricas de uma estrutura funcionalmente abstrata”,<sup>148</sup> como era o caso da programação clássica de computadores. A simulação computacional permite que o usuário opere sobre modelos mais complexos e em maior número do que se estivesse reduzido aos recursos de sua imaginação e de sua memória de curto prazo, mesmo ampliadas através de representações no papel. De acordo com Lévy, o conhecimento por simulação alcança níveis de entendimento e comunicação antes inimagináveis graças ao tempo real. De fato, o modelo não é mais visto como um enunciado teórico,

---

<sup>147</sup> NEGROPONTE, 1970, p. 47.

<sup>148</sup> LÉVY, 2004, p. 123.



ou a “representação” da realidade, mas sim uma etapa, “um instante dentro de um processo ininterrupto de bricolagem e de reorganização intelectual”.<sup>149</sup>

O conhecimento por simulação e a rede informatizada permitem valorizar o momento oportuno, a situação, em que o modelo computadorizado é explorado com determinado fim dentro de um contexto específico. Na linguagem escrita os discursos podem ser separados das circunstâncias particulares em que foram produzidos e passam pelo crivo da interpretação, como compensação ao tempo e à distância imprimida à teoria. Acontece que o conhecimento por simulação se aproxima da comunicação oral, onde o narrador adapta sua mensagem ao contexto no qual está inserido, através de uma narrativa conectada em tempo real com a audiência. Lévy sugere categorias, mais precisamente três pólos do espírito, a oralidade primária, a escrita e a informática como formas de explicitar as técnicas contemporâneas de comunicação e processamento da informação por computador. Entretanto ele atenta para o fato de que estes pólos não correspondem a épocas determinadas, estando presentes a cada instante e em cada lugar, mas com intensidade variável. Assim como a dimensão narrativa está sempre presente nas teorias e nos modelos, a atividade interpretativa está subjacente à maioria das *performances* cognitivas. Enfim, a simulação mental de modelos do ambiente sem dúvida caracteriza a vida intelectual da maioria dos seres humanos.

#### **4.4 Fotogrametria Digital e Visão Computacional**

Wolfgang Förstner,<sup>150</sup> em seu artigo intitulado *Computer vision and Photogrammetry-Mutual Questions: Geometry, Statistics and Cognition* apresenta seu ponto de vista sobre o diálogo entre a *visão computacional* e a fotogrametria nas duas últimas décadas. Ele argumenta que, mesmo após vinte anos de intercâmbio de informações, há ainda poucos produtos além dos conhecimentos básicos sobre as duas

---

<sup>149</sup> LÉVY, 2004, p. 125.

<sup>150</sup> FÖRSTNER, Wolfgang. 2002, *Computer vision and Photogrammetry-Mutual Questions: Geometry, Statistics and Cognition* Photogrammetry meets Geoinformatics.

disciplinas. A interação entre *visão computacional* e fotogrametria deriva do esforço de Kennert Torlegard nos anos de 1970, quando pesquisava sobre as possibilidades práticas da fotogrametria de curta distância a partir da perspectiva computacional.<sup>151</sup> A *visão computacional* pode ser caracterizada como a investigação das técnicas de automatização do registro visual do mundo. Os pesquisadores da *visão computacional* se ocupam de problemas relacionados com a interpretação automatizada do mundo visível, através de sensores e sistemas computadorizados capazes de sintetizar modelos simulados a partir das informações levantadas. Ao criar condições para o reconhecimento automático de formas, contornos, superfícies e texturas, a partir dos objetos ou de suas representações gráficas, a visão computacional ampliaria o alcance da fotogrametria digital no estudo da Arquitetura, uma vez que permitiria o mapeamento dos objetos em *tempo real*. A conexão com a fotogrametria ocorre no momento em que esta altera toda a sua base tecnológica através do processo de digitalização.

A articulação entre a fotogrametria digital e a visão computacional pode ser mais bem entendida através da explicitação de alguns pontos chave que discutiremos a seguir.

Como já foi demonstrado no capítulo anterior, os profissionais da fotogrametria acreditam ser necessário saber qual a mais alta precisão que um determinado sistema pode prover, com o objetivo de se obter do modo mais econômico o produto desejado. Além disso, essa informação também é importante para o estudo comparativo entre a fotogrametria arquitetônica e outras técnicas avançadas de medição.

O uso de câmaras calibradas é instituído como prioritário, pelo menos no caso da construção de mapas, mas não é uma regra. No caso da fotogrametria arquitetônica é conhecido o uso de câmaras não-calibradas nos processos de levantamentos de edificações ao longo dos últimos 30 anos. Com o uso cada vez maior de sensores CCD e câmaras de vídeo esse campo da fotogrametria pode ampliar-se suficientemente, com novas perspectivas. Pensando nisso, profissionais da infografia acreditam que o uso de câmaras não-calibradas concorreria para a exploração de todo o potencial geométrico da

---

<sup>151</sup> FÖRSTNER, 2002, p. 1.

imagem, em detrimento de uma baixa precisão do modelo final. Entretanto há um consenso de que grande parte dos trabalhos será mais bem desenvolvida com a implementação de câmaras auto-calibradas a partir de processos automatizados.

Desse modo, a obtenção de valores aproximados de modo automático não é, a princípio, um interesse da fotogrametria, apesar de serem determinantes em alguns sistemas de reconstituição automatizada a partir de imagens fotográficas.

Geralmente se considera que a fotogrametria, no sentido técnico estrito, está relacionada com o aspecto geométrico da imagem fotográfica, com pouca, ou nenhuma, dedicação à interpretação da imagem. Entretanto, apesar desse interesse na geometria ser definitivo, podemos considerar que a fotogrametria também é uma disciplina onde as informações semânticas das imagens são importantes, sobretudo no caso específico da Arquitetura, onde a interpretação da imagem é muito importante para a documentação fotográfica e a construção de modelos tridimensionais.

Assim, a troca de experiências entre a infografia e a fotogrametria possibilitaria efetivamente a obtenção de modelos a partir de câmaras simuladas por computador, entre outras coisas. O uso de algoritmos que traduzem as equações de colinearidade e coplanaridade cria a condição básica para a restituição geométrica na fotogrametria digital. Alguns cientistas da computação admitem que o sucesso da fotogrametria se deve em parte à interação produtiva entre o usuário e a máquina e a um tratamento extremamente especializado da informação. Contudo a tarefa de um reconhecimento automático de cenários, no sentido de reconstruí-los de uma maneira automatizada e apreensível aos olhos, ainda não foi alcançada. Tanto na infografia quanto na fotogrametria, a implementação de uma interpretação automatizada da imagem esbarrou na falta de uma interface apropriada entre o processo de registro e a construção de modelos simulados de cenários mais complexos do mundo real.

#### 4.5 Da Perspectiva aos Modelos Tridimensionais Simulados

Couchot já mencionou, ao se referir à tecnologia digital, que existem apenas dois modos de se produzir uma imagem numérica, ou melhor, uma simulação computacional. A primeira maneira, partindo do referente existente no mundo, seja através de fotografias ou desenhos, seja através das coisas em si mesmas. A segunda maneira, criando modelos a partir de referências abstratas, independentemente de qualquer informação preexistente, geradas *a priori* de descrições matemáticas precedidas unicamente da imaginação do usuário. Ao segundo modo de simulação poderíamos denominar *síntese*, onde o real é reconstruído de modo sintético a partir de códigos binários, segundo programas especializados. Mas não são apenas os modelos construídos a partir de descrições matemáticas que constituem *síntese*. Seria correto denominar *síntese* todo e qualquer processo subjacente à transformação do analógico ao digital. Desse modo, tanto a digitalização de uma fotografia por um scanner de mesa, quanto a construção de um modelo simulado no computador seriam trabalhados como códigos binários. Mesmo uma fotografia tirada com uma câmara digital seria *sintética*, pois agora não mais os saís de prata materializariam de modo autônomo e definitivo a luz sobre o papel sensibilizado, mas esta seria codificada e gravada no cartão de memória da máquina.

Uma vez transformada em códigos numéricos, a informação deixa de ser meramente visual e se torna capaz de ser simulada. A partir do momento em que a imagem fotográfica, por exemplo, é transformada em *bits* e apresentada na forma de *pixels* na tela do computador, ela só permanece ligada ao referente por meio da significação. A supremacia do *analogon*, como diria Barthes, sobre a representação é substituída agora pela hegemonia da simulação, graças à tecnologia digital que, através dos mais avançados algoritmos estruturados, permite sua decomposição em camadas de informação para cada uso específico, como a modelização tridimensional a partir das gradações da luz, ou a aplicação de texturas reais a modelos simulados de edificações. O importante de se notar é que, em ambos os casos, na presença de um objeto preexistente ou a partir de descrições matemáticas, a imagem que aparece na tela possui uma

autonomia, causada exatamente pela interposição de uma operação computacional entre o real e a simulação.

#### 4.5.1 A Modelização a partir de Fotografias

Técnicas para a digitalização de cenários tridimensionais complexos têm evoluído rapidamente nos últimos anos, no entanto, a tese de Paul Debevec,<sup>152</sup> intitulada *Modeling and Rendering Architecture from Photographs*, ainda continua atual sob o ponto de vista da inovação tecnológica nos campos da computação gráfica e da fotogrametria. Como cientista da computação, ele demonstra constante interesse pelas potencialidades da visão computacional, da computação gráfica, da cibernética, enfim, no uso de modelos para a simulação computacional de ambientes construídos. De acordo com Debevec, à medida que as tecnologias para a experimentação de ambientes virtuais se desenvolvessem, haveria uma demanda crescente pela modelização dos objetos com os quais interagimos mais, que ele entende como sendo a Arquitetura e a cidade, especialmente aquelas de valor histórico.

A principal crítica de Debevec aos métodos tradicionais de modelização tridimensional é dirigida à inconsistência metodológica da maior parte das experiências contemporâneas. Melhor dizendo, o que o autor afirma é que os instrumentos e *software* disponíveis no mercado não atendem à demanda crescente das empresas privadas e instituições públicas por velocidade, precisão e interatividade. Além disso, ele alerta que os programas utilizados na “montagem” de modelos 3D se concentram numa modelização do mundo real majoritariamente especulativa, o que seria um problema para estudos simulados de fenômenos naturais, no planejamento urbano ou, ainda, na concepção de museus virtuais. Desse modo, mesmo nas investigações mais consistentes, diversos obstáculos impedem o aproveitamento total da tecnologia utilizada, como o trabalho de campo intensivo e demorado, a digitalização de plantas, a dificuldade de

---

<sup>152</sup> DEBEVEC, Paul. **Modeling and Rendering Architecture from Photographs**. University of California at Berkeley. Tese de Doutorado, 1996.

verificar a precisão do modelo simulado, e por último, a falta de apelo foto-realístico do produto final.<sup>153</sup>

A conclusão a que se pode chegar ao ler o texto de Debevec é que o problema da construção de modelos tridimensionais não é simplesmente técnico, ou instrumental, mas está, acima de tudo, mediado por novas tecnologias de informação. O objetivo principal de sua tese foi conceber uma estrutura híbrida – automático/manual, geometria/imagem, interativo/programado – para a modelização da Arquitetura a partir de fotografias e não exatamente promover uma discussão teórica sobre o assunto. Entretanto Debevec ignora os avanços da fotogrametria que, desde os anos 70, têm contribuído para o levantamento e a documentação de edifícios, por fotografias, ou pelas restituições geométricas realizadas. O que o autor conhece sobre o assunto não é mais do que a maioria dos especialistas em visão computacional conhece, ou seja, muito pouco além do senso comum. Talvez, se não fosse este o caso, não seria preciso mencionar que a falta de intimidade com o assunto, para além das equações de colinearidade e dos parâmetros intrínsecos das câmaras, significou uma pesquisa contestável do ponto de vista teórico. Entretanto, apesar da lacuna em relação à fotogrametria, Debevec atingiu o cerne da questão da simulação da Arquitetura a partir de fotografias ao detalhar o seu método inovador no contexto das tecnologias avançadas de aquisição da forma real e simulação computadorizada.

Em relação às tecnologias avançadas, diversos pesquisadores da ciência da computação têm se dedicado mais obstinadamente nas duas últimas décadas ao estudo da modelagem tridimensional partindo de imagens fotográficas. A “modelização baseada na imagem”<sup>154</sup> tem utilizado sistemas informáticos na forma de algoritmos estruturados que executam todo o trabalho de modelização automatizada a partir das semelhanças estereoscópicas de um vasto conjunto de imagens de determinado objeto.

---

<sup>153</sup> DEBEVEC, 1996, p. 3.

<sup>154</sup> Em inglês *image-based modelling*. Trata-se de um campo da visão computacional (*computer vision*) que se dedica ao estudo das propriedades tridimensionais contidas nas imagens. Dadas duas ou mais imagens de uma cena, um modelo aproximado da câmara utilizada e pontos correspondentes entre o objeto real e a representação, o problema central da visão computacional seria a reconstrução tridimensional de um modelo simulado a partir destes dados.

Este método poderia ser uma boa opção para o estudo de objetos geometricamente simples, mas se torna impraticável para projetos em larga escala, por causa da complexidade no processamento computacional e pelas limitações de desempenho ainda presentes na maioria dos equipamentos. Por exemplo, no caso do uso da correspondência entre *pixels* de imagens estereoscópicas, ele conclui que se pares de imagens com distância reduzida entre as câmaras são similares em aparência e tornam possível a automatização da junção das imagens, de outra forma, não fornecem informações de profundidade satisfatórias. Câmaras com grandes distâncias entre si fornecem informações taqueométricas precisas, mas carecem da semelhança visual necessária para junção e alinhamento automatizados.

O levantamento das informações geométricas diretamente do objeto real deve-se principalmente ao aprimoramento dos instrumentos de medição que utilizam feixes de luz coerente, os *laser-scanners*. Neste contexto, Szymon Marek Rusinkiewicz<sup>155</sup> faz uma distinção na forma em que o escaneamento e aquisição do modelo tridimensional funcionam. No primeiro método, ele considera que o objeto ou o *laser-scanner* estaria em movimento, retornando uma “informação da profundidade” de diversos pontos do objeto a partir de um ponto fixo no espaço. Neste caso o resultado do processo é uma nuvem de pontos, que é muito similar a uma imagem digital, onde o *pixel* que contém informações espaciais sobre pontos específicos do objeto real no espaço é referenciado num banco de dados. Assim, seqüências destas nuvens de pontos poderiam ser usadas na construção de cenários que prescindem de uma modelização completa das edificações e se dedicam a um levantamento de fachadas e de seus detalhes mais complexos. No segundo método, que ele denomina como “aquisição do modelo”, o mesmo instrumento é utilizado para construir modelos completos de objetos rígidos, como esculturas, por exemplo. Neste caso, os levantamentos seqüenciais obtêm imagens de profundidade de todo o objeto a partir de diferentes pontos de vista, onde a demanda por métodos para o alinhamento e a junção de todas as nuvens de pontos em um único modelo torna-se o objetivo de diversos estudos nos últimos anos. Apesar de os sistemas atuais serem capazes, em alguns casos, de obter também as informações fotométricas,

---

<sup>155</sup> RUSINKIEWICZ, Szymon Marek. Real-Time Acquisition and Rendering of Large 3D Models. Ph.D. Thesis. 2001. 150p. Stanford University.

ou seja, as imagens fotográficas somadas aos espectros de luz não-visível, tratam-se de equipamentos caros que requerem operação por especialistas. A partir desta argumentação, Rusinkiewicz propõe um novo método para a aquisição de modelos tridimensionais onde a rapidez, o baixo custo operacional e a facilidade do uso seriam os objetivos principais.

Voltando a Debevec, podemos dizer que sua proposta é a utilização de um método híbrido, mediante o uso tanto da modelagem geométrica parametrizada, quanto da “modelização baseada na imagem”, como podemos observar no quadro anterior. No entanto a verdadeira inovação de Debevec é que seu método de modelização tridimensional requer apenas uma pequena quantidade de fotografias, sendo possível a partir de uma única foto, como ele exemplifica na sua tese. Outra característica de seu programa de computador é que as formas do objeto real são, por assim dizer, reconstruídas de modo semi-automático de acordo com princípios fotogramétricos. Aliás, a fotogrametria está presente em seu trabalho, mesmo que de modo implícito e operacional, no processo de digitalização da Arquitetura. Basicamente, o método de Debevec divide o processo de modelização em dois estágios: um deles interativo, onde o usuário pode aprimorar o modelo objetivando do modo mais rápido possível, outro automático, no qual o computador realiza as operações com base em algoritmos avançados.<sup>156</sup>

---

<sup>156</sup> DEBEVEC, 1996, p. 4.



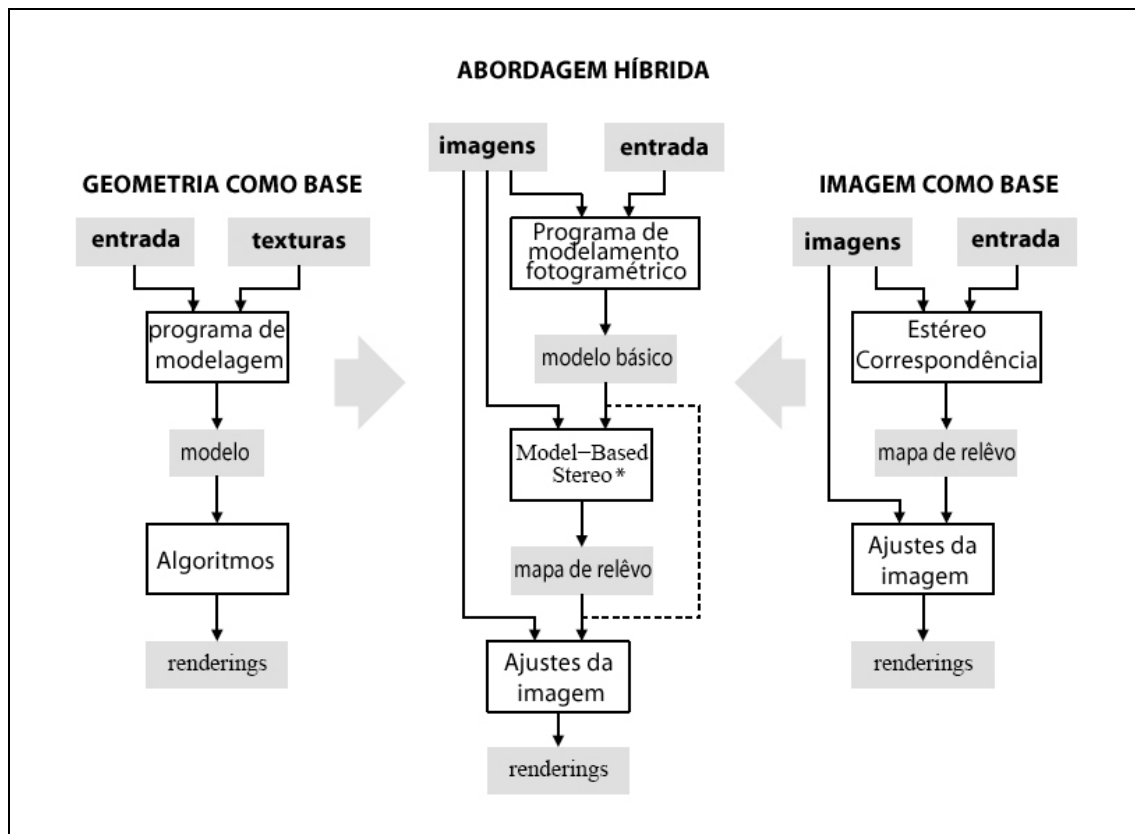


Figura 33: Fluxograma proposto por Debevec para explicitar as diferenças entre a sua abordagem e outros dois sistemas de modelização tridimensional.

\*Em alguns termos foi mantida a expressão original em inglês.

#### 4.5.2 O processo de Calibração de Câmaras Digitais

Na visão de Debevec, obter formas tridimensionais sintetizadas a partir de imagens bidimensionais torna-se uma questão operacional quando as fotografias são tiradas com uma câmara calibrada, quer dizer câmaras das quais se conhecem os parâmetros relativos ao seu conjunto de lentes. Na verdade, ele considera imprescindível o uso de câmaras calibradas para a modelização de qualquer objeto a partir de fotografias, mesmo tendo conhecimento do esforço de alguns pesquisadores na implementação de câmaras “não calibradas”, graças ao aprimoramento dos algoritmos computacionais. De um ponto de vista estritamente técnico, “uma câmara calibrada é aquela na qual as coordenadas relativas da imagem podem ser conhecidas em função

das características intrínsecas da câmara”<sup>157</sup>. O processo de calibração visa transformar o sistema de coordenadas da imagem no sistema de coordenadas da câmara. Segundo uma abordagem mais ampla, podemos dizer que, após ser calibrada, uma câmara qualquer seria capaz de tirar fotos sobre as quais podem-se obter medidas com precisão, através de programas computacionais específicos. Como referência, citamos as câmaras métricas que, fabricadas sob rígidas condições de montagem, são responsáveis pela precisão de levantamentos fotogramétricos, graças às baixas distorções do conjunto ótico, à alta resolução da imagem e ao conhecimento dos valores nominais dos parâmetros intrínsecos. Além disso, as câmaras métricas mantêm fixas as relações entre o seu conjunto ótico, o objeto fotografado e a imagem gravada no filme ou no sensor CCD.

Um das maneiras de estudar o funcionamento de um instrumento é a construção de um modelo teórico, uma apresentação ideal, de tal instrumento. No caso da câmara fotográfica é apresentado por Debevec o seu processo de calibração da câmara a partir do seu modelo ideal, uma caixa com um furo micrométrico, uma câmara obscura. Enquanto seus parâmetros externos, ou seja, sua localização e sua orientação relativa a determinado objeto, independem do tipo de câmara utilizado, Debevec aponta cinco parâmetros intrínsecos da câmara digital a saber:

1. A coordenada x do centro de projeção: em *pixels* ( $u_0$ )
2. A coordenada y do centro de projeção em *pixels* ( $v_0$ )
3. A distância focal, em *pixels* ( $f$ )
4. A razão proporcional ( $a$ )
5. O ângulo entre os eixos óticos ( $c$ )

Na maioria das imagens feitas a partir de câmaras com lentes padronizadas, o centro de projeção encontra-se próximo do centro geométrico da imagem. Entretanto, imagens tiradas com câmaras antigas ou digitalizadas podem sofrer distorções, que podem afetar a calibração da câmara. Além disso, alguns procedimentos para se fotografar Arquitetura, especialmente edifícios altos, situam o centro de projeção distante do centro geométrico da imagem, tornando o processo mais complexo e demorado.

---

<sup>157</sup> DEBEVEC, 1996, p. 25.

A distância focal de uma câmara em *pixels* pode ser estimada dividindo a distância focal nominal deste aparelho pela largura da superfície de projeção da imagem, seja um filme ou um sensor CCD, e então multiplicada pela largura final da imagem, em *pixels*. Exemplo: uma imagem produzida a partir de uma câmara com filme 35 mm, que mede (36x24) mm, e lente com  $f$  de 70 mm, digitalizada no formato de 1440x960 *pixels* teria uma distância focal aproximada de 2800 *pixels*. É necessário ter em conta que mesmo lentes com uma distância focal nominalmente fixa, podem variar de acordo com a distância do objeto, o que significa que é necessário um novo ajuste para cada distância focal, ou então definir o foco fixo no infinito e manter uma abertura da objetiva pequena o suficiente para mostrar tanto os objetos mais próximos quanto os mais distantes nitidamente.

A razão proporcional de uma imagem está relacionada com o tipo de lente utilizada na câmara podendo, inclusive, ser alterada por meios digitais. No caso de lentes padronizadas, essa razão proporcional é aproximadamente igual a uma unidade, mas pode variar no processo de digitalização ou gravação dos filmes originais.

O ângulo entre os eixos óticos é de  $90^\circ$  para todos os casos práticos, onde imagens são adquiridas com câmaras digitais, ou digitalizados em equipamentos profissionais.

As câmaras reais desviam de seu modelo físico-matemático em muitos aspectos. O efeito mais conhecido e relevante é que apenas uma área específica da superfície do filme ou do sensor CCD não estará distorcida. Este efeito pode ser minimizado utilizando uma abertura da objetiva no valor mínimo possível e estabelecendo a distância focal no infinito. O segundo efeito mais discutido é a distorção radial das lentes. As lentes das câmaras comercializadas hoje em dia, mesmo as mais avançadas, apresentam o que se denomina distorção radial. Ou seja, a maioria das lentes causa uma distorção a partir do centro da imagem que pode fazer com que os elementos representados pareçam mais curvos do que realmente são. Para se corrigir esse efeito é necessário conhecer o centro geométrico da lente e elaborar uma função matemática que reconstrói radialmente, desde o centro da imagem, a representação de cada linha reta. Essa reconstrução é necessária para que as linhas retas, aparentemente curvas na fotografia, tornem-se retilíneas novamente. Por último, há o desvio relativo à

deformação do filme fotográfico, no caso das câmaras analógicas, o que impede que o filme fique completamente plano e ajustado ao corpo da câmara. Desse modo, no processo de digitalização deve-se considerar este desvio, corrigindo-o quando possível, através de programas computacionais. As câmaras digitais não são susceptíveis a esse desvio, pelo fato de possuírem nos sensores CCD uma superfície plana, muitas vezes rigidamente conectada ao conjunto de lentes, tornando o aparelho mais eficaz e preciso.

O elemento diferencial do método de calibração criado por Debevec é sua divisão em duas etapas, sendo que, na primeira fase, o objetivo é determinar o desvio radial do conjunto de lentes da câmara e, na seqüência, é proceder com a recuperação dos parâmetros intrínsecos da câmara. O desvio radial de uma câmara é produzido pela geometria esférica das lentes, tornando todas as imagens fotográficas levemente curvas desde o centro. Ao contrário, na câmara obscura ideal, as imagens seriam produzidas de acordo com as leis da perspectiva linear, onde elementos retilíneos no mundo real seriam reproduzidos com linhas retas na imagem. Nesse sentido, utiliza-se a fotografia de um padrão xadrez, tirada de um ponto perpendicular ao seu centro geométrico. A novidade está nas transformações que se estabelece na imagem, com o objetivo de demonstrar com maior evidência a deformação radial, que é, na maioria das vezes da ordem de alguns microns. De acordo com Debevec, uma vez que o padrão de distorção radial das lentes é conhecido, é possível utilizar a câmara para obter imagens aptas a serem ortorretificadas, pois agora teremos um caso de perspectiva linear, tornando possível caracterizar as lentes em termos dos cinco parâmetros intrínsecos.

O método mais utilizado para a determinação dos parâmetros intrínsecos foi desenvolvido por Olivier Faugeras<sup>158</sup> em 1992. A “grade de calibração”, como é chamada, se constitui de dois planos graduados perpendiculares entre si, que são fotografados partindo de diversos pontos de vista. Assim, o modo clássico de se calibrar uma câmara é pela determinação de sua matriz de projeções usando pontos de controle conhecidos no espaço tridimensional. Com a finalidade de se obterem valores mais consistentes, a grade é fotografada a partir de pelo menos três pontos de vista. A

---

<sup>158</sup> FAUGERAS, Olivier, LUONG Quang.-Tuan., e MAYBANK, S.J. Camera self-calibration: theory and experiments. *In* European Conference on Computer Vision, pages 321–34, 1992.

utilização de um objeto real e seu respectivo modelo, simulado por computador, viabiliza a obtenção de valores precisos no processo de calibração.

#### 4.5.3 O Uso de Câmaras Não-Calibradas

Apesar de o processo de calibração da câmara simplificar de modo considerável a operação de modelização tridimensional, o aprimoramento dos algoritmos computacionais tem favorecido o uso de câmaras “não calibradas” na última década, como observamos no texto de Olivier Faugeras.<sup>159</sup> A automatização progressiva da construção de modelos tridimensionais transformou decisivamente a concepção de fotogrametria e, desde então, as imagens obtidas a partir de câmaras não calibradas têm encontrado aplicações em diversos setores da sociedade como, por exemplo, em Arquitetura, patrimônio histórico, Medicina, cinema. Partindo do fato de que os métodos tradicionais de calibração nem sempre são funcionais, principalmente nos casos onde não há como saber qual a câmara usada na obtenção da foto, diversos pesquisadores têm se dedicado a estabelecer novos métodos de modelização. Em primeiro lugar, as fotografias existentes de edifícios demolidos ou destruídos por desastres naturais, encontradas em arquivos públicos ou coleções privadas, constituem as únicas referências para a modelização tridimensional do edifício. Mesmo sem a possibilidade de se determinar *a priori* os parâmetros intrínsecos das câmaras usadas, ou corrigir as distorções do modo convencional, as edificações constituem em si mesmas, os objetos de calibração. As linhas retas prevaletentes na Arquitetura, de um modo geral, podem ser usadas para determinar a distorção radial da lente usando o mesmo método adotado por Debevec, ou o método sugerido por Faugeras<sup>160</sup>. Em segundo lugar, por não se tratar de câmaras métricas, fabricadas com o propósito de se obter imagens capazes de fornecer medidas precisas do objeto real – ainda que seja um sistema calibrado – os dados podem sofrer desvios por razões diversas como variações

---

<sup>159</sup> FAUGERAS, Olivier, LUONG, Quang-Tuan. The geometry of Multiple Images: the laws that govern the formation of multiple images of a scene and some of their applications. The MIT Press, 2001.

<sup>160</sup> FAUGERAS, 2001, p. 15.

mecânicas, térmicas, ou ainda variações na distância focal, que exigem grande flexibilidade do sistema de cálculo computacional.

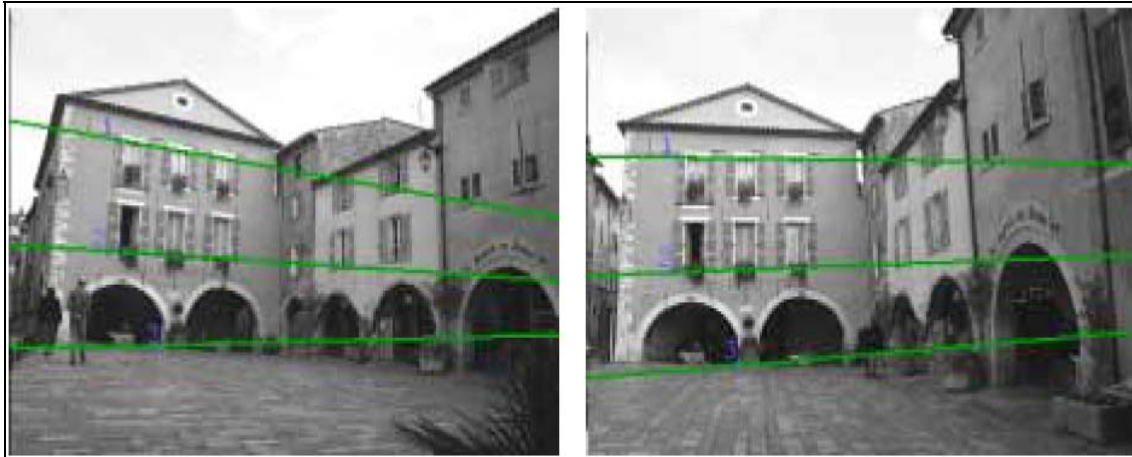


Figura 34: Par de fotografias apresentando a técnica de modelização de Faugeras, onde linhas paralelas, comuns às duas imagens revelam correspondências visuais.

Fonte: FAUGERAS, Olivier, LUONG, Quang-Tuan

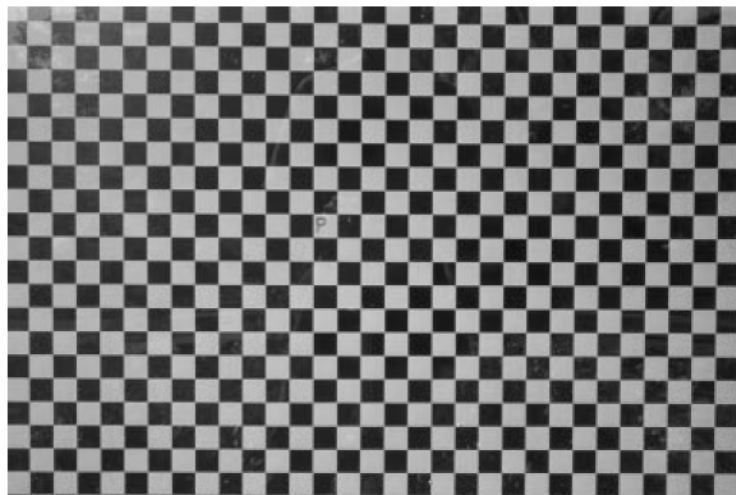


Figura 35: Padrão utilizado para verificação do desvio radial de câmaras digitais. As tiras pretas com linhas brancas se referem às distorções, onde a inclinação de cada linha é submetida a um processo computacional de correção.

Fonte: DEBEVEC, Paul.

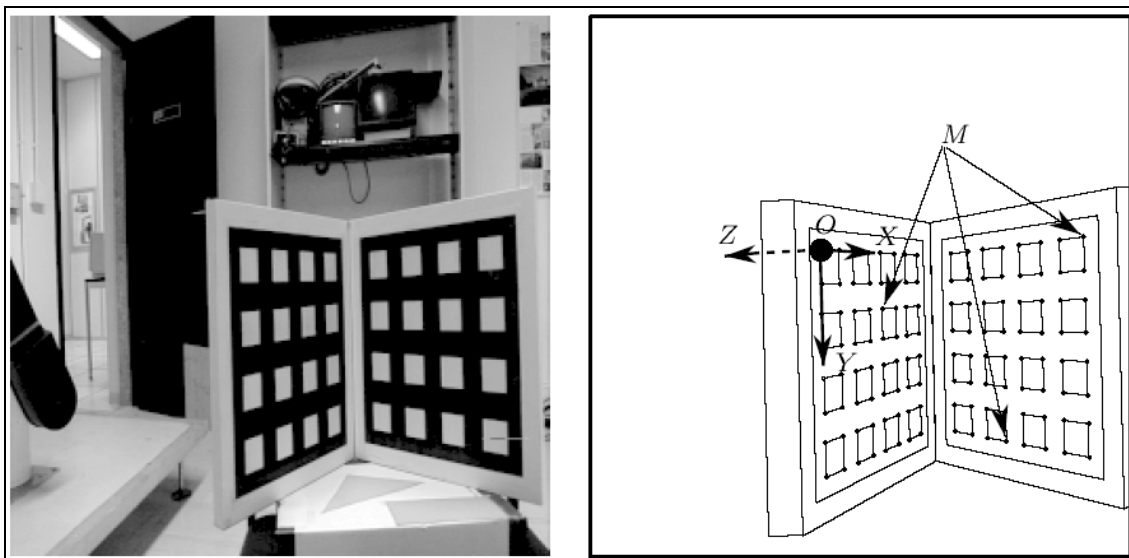


Figura 36: Grade de calibração e o modelo computadorizado para ajuste dos parâmetros intrínsecos das câmaras, concebidos por Olivier Faugeras.

Fonte: FAUGERAS, Olivier, LUONG, Quang-Tuan

#### 4.5.4 Modelização Fotogramétrica

No início o usuário seleciona um pequeno número de fotografias e escolhe a primeira peça a ser modelada, lembrando-se de que poderá voltar a trabalhar novamente nesta peça até que atinja o nível de detalhe e precisão desejado. Estes componentes, chamados *blocos*, são na verdade primitivas geométricas, tais como prismas e superfícies de revolução. O usuário marca a seguir as linhas principais do objeto em cada imagem através da interface gráfica. O uso de linhas, ao invés de pontos, tem principal vantagem de ser menos suscetível a oclusões e mais fácil de se localizar. Além disso, marcar bordas torna-se uma operação simples, por prescindir de um ajuste preciso dos vértices na imagem. Para verificar a precisão do modelo o usuário pode projetá-lo sobre a fotografia original e verificar o desvio, que na maioria das vezes é menor que um *pixel*, ou seja dada uma imagem de  $600 \times 400$  *pixels*, a precisão será calculada em função de uma fração e não de um número inteiro representado pela unidade *pixel*. Ao encerrar a sessão, o usuário salva o projeto como um arquivo-texto, no qual está contido todo o histórico do modelo construído, bem como as informações sobre as

características das câmaras e das imagens utilizadas no projeto. Mais, ao finalizar a sessão, cada *bloco* tem um arquivo gerado com suas dimensões, suas coordenadas e as hierarquias de relacionamento com outros *blocos*.

A descrição acima se refere ao programa concebido por Debevec em 1996, denominado *Facade* (Fachada). Seus estudos significaram um importante marco na discussão sobre cibernética e realidade virtual, além de contribuir para o avanço da tecnologia informática na última década. A principal inovação deste programa está no reduzido número de parâmetros, em lugar de uma quantidade excessiva de pontos referenciais, como seria o caso de outros métodos de modelagem tridimensional utilizando imagens. O que constitui *Facade*? Seria apenas mais um programa de modelagem no computador? Se seu processo de reconstrução tridimensional com blocos poliédricos é uma solução bem adaptada à modelização de Arquitetura convencional, de outra forma, não é eficiente na aquisição das formas orgânicas de uma escultura, do interior de uma igreja barroca, ou mesmo de elementos urbanos, como praças, cenários paisagísticos e sítios arqueológicos. Além disso, não seria o método mais indicado para a modelagem de uma área urbana de grandes dimensões e estruturas urbanísticas mais complexas, pois a complexidade destas tarefas exigiria, a meu ver, uma metodologia com alto grau de automatização.

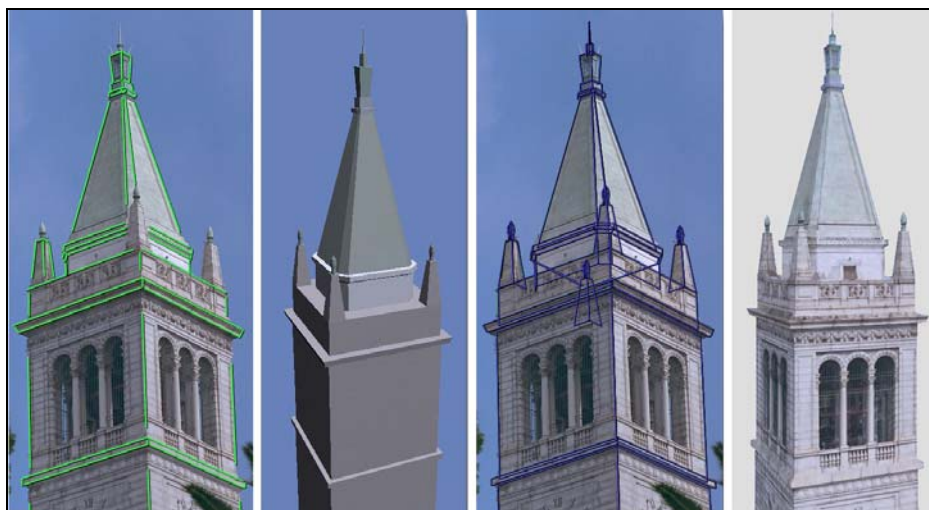


Figura 37: Ilustração do processo modelização concebido por Debevec. Da esquerda para a direita, a) a fotografia original; b) o modelo simulado; c) o modelo é sobreposto à fotografia para verificar a precisão das medidas; d) após a aplicação de texturas, o modelo é visualizado a partir de um ponto de vista distinto da câmara original, em outras palavras, trata-se agora de uma imagem sintetizada pelo computador.



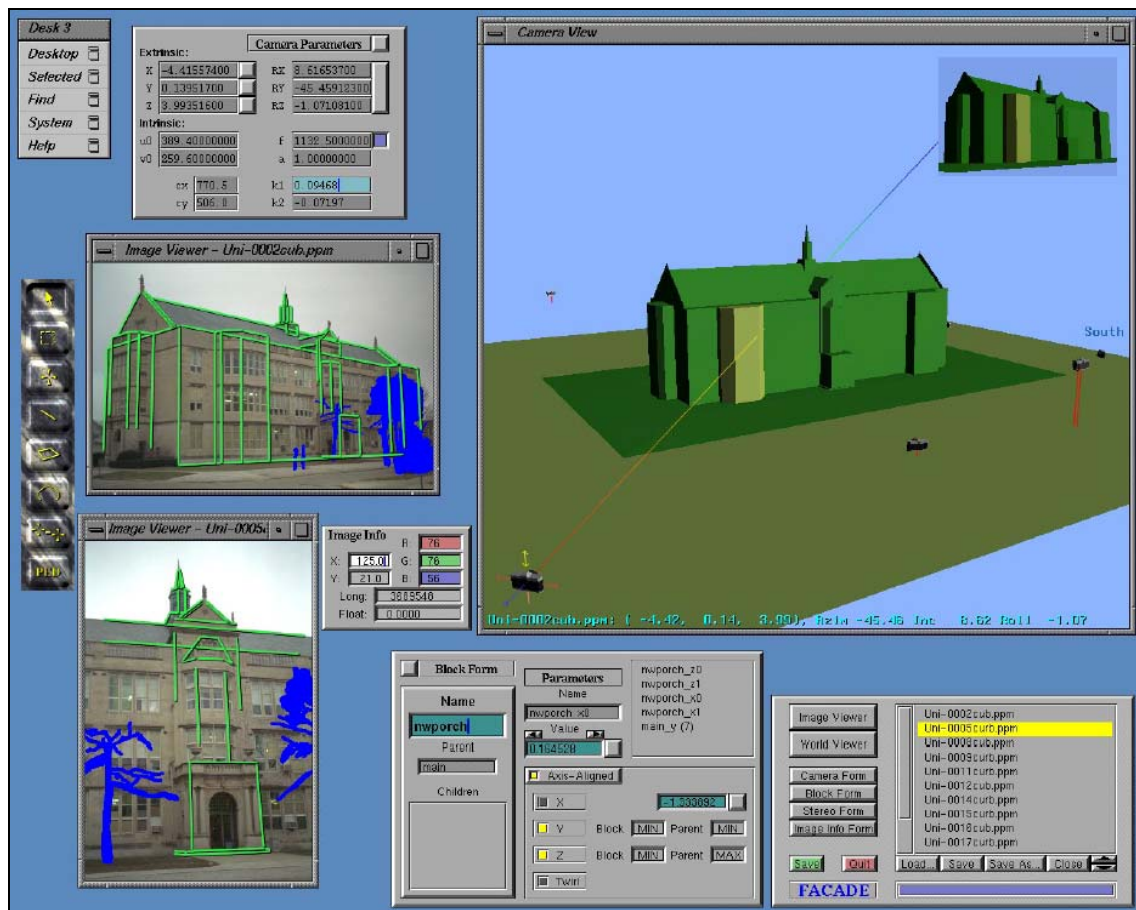


Figura 38: Interface do sistema de modelização Facade. No sentido horário, a começar da janela maior:

- 1) vista aérea do modelo e das câmaras das fotografias originais;
- 2) listagem das imagens utilizadas neste projeto;
- 3) listagem dos blocos, onde é possível ajustá-los e definir hierarquias;
- 4) duas janelas de visualização de imagens, que mostram as imagens do projetos e permitem aos usuários definir marcas e correspondências;
- 5) o listagem dos parâmetros das câmaras, onde é possível verificar e modificar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos.

#### 4.6 O real e o Virtual

Para Jean-Louis Weissberg,<sup>161</sup> a simulação computacional coloca-se hoje definitivamente entre a imagem e o objeto, dando origem ao fenômeno de hibridação das tecnologias e dos suportes técnicos e científicos. Esse estado de não-separação entre a representação e o real, quer dizer, a simulação, tem se tornado o principal objetivo de diversos projetos científicos e artísticos hoje em dia, através da mobilização de investimentos significativos em ciência e tecnologia. Podemos verificar, nos programas CAD e nas simulações de experiências em Física por exemplo, que a informática apoderou-se de funções de visualização antes mesmo de se tornar técnica visual, ampliando largamente as condições de modelização dos objetos através do cálculo matemático. De fato, o sistema cognitivo formado pela “modelização-numerização-programação”, independente de uma eventual visualização, mudou as regras do jogo.

A declaração de Weissberg de que “falta-nos palavras para designar essa situação em que a imagem não é mais representação, mas apresentação, simplesmente, em que a imagem não é mais figurativa, mas também funcional”<sup>162</sup> pode ser considerada ambígua, mas esclarece a hibridação dos dois estados, o real e o virtual, sem a substituição aparente de nenhum deles. Os programas utilizados em geoprocessamento, por exemplo, ilustram bem esta ambigüidade. Apesar de serem apresentados como pontos luminosos na tela do computador, cada *pixel* das imagens de satélite podem conter informações relativas a diversos aspectos físicos de um cenário, ainda que não seja visualizável enquanto tal. O *pixel* assumiria nesse caso o papel de código de acesso a outros níveis de dados textuais, mediante controles do programa utilizado. Outro exemplo são as câmaras digitais de alta resolução, cujos sensores CCD, alcançando um *gigapixel* de resolução, permitem gravar imagens com informações não visíveis a olho nu, acessíveis apenas por meio de sucessivas ampliações da imagem. O que inicialmente se apresenta como um ponto negro, uma mancha na tela do computador, após sucessivas

---

<sup>161</sup> WEISSBERG, Jean-Louis. Real e Virtual. In: **Imagem Máquina** – A Era das Tecnologias do Digital. Rio de Janeiro: Ed. 34. 2004. p. 117-126.

<sup>162</sup> WEISSBERG, 2004, p. 118.

ampliações, torna-se um pássaro sobre o galho de um arbusto. Na verdade o pássaro já estava lá, armazenado na memória digital da câmara, em código binário, até que a seqüência de *zoom* e enquadramentos “aproximasse” a representação das informações codificadas na tela do computador. Isso seria, respeitadas as devidas proporções, uma concretização dos eventos descritos por Deckard na cena da manipulação da fotografia, no filme *Blade Runner*, citado anteriormente.

Weissberg concentra sua análise teórica na simultaneidade do real e do virtual e não na substituição de um pelo outro, do referente por seu substituto, como ele mesmo afirma. Ele enumera e explica em determinado momento de seu discurso alguns casos em que o virtual não substitui propriamente o real, mas, antes, compõe com ele uma nova espacialidade. O importante de se notar é a presença da composição real/virtual nas mais diversas situações, das quais considero as mais importantes:

- *A apresentação do real pelo virtual*, onde o virtual torna-se uma possibilidade interativa. Citamos como exemplo o treinamento de um piloto de avião dentro de uma cabine especialmente projetada para simulações de situação de vôo. A percepção do ambiente simulado ocorre ao mesmo tempo em que é sobrevoado pelo piloto em seu avião, ou seja, “o território alimenta, como substrato, como emissor, sua própria simulação”. É uma dupla simulação!
- *A interpretação do real pelo virtual*, onde o virtual soma-se ao real, dando-lhe condições de validar a leitura visual de estruturas difíceis de se ler diretamente, restituindo-lhes sua profundidade de campo, por exemplo no caso de modelos computacionais que necessitam das fotografias dos objetos reais, como que para a confirmação de sua plausibilidade enquanto simulação.
- *O prolongamento do real no virtual por contigüidade*, onde tecnologias avançadas estão na base de sistemas informatizados que possibilitam a experiência sensorial a partir de modelos simulados em computador, como no caso em que se folheia a página de um livro passando o dedo pela tela do computador, ou quando, jogando no videogame uma corrida de carros, sente-se a vibração do controle ao derrapar o carro virtual. Nas duas situações descritas

acima se imprime uma “ação” sobre o virtual e experimenta-se “realmente” o virtual como um prolongamento por contigüidade de um sobre o outro.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do *Descriptio Urbis Romae* de Alberti à construção da réplica de Altamira, do aperfeiçoamento dos instrumentos antigos de medição à invenção da fotogrametria, da tecnologia analógica à inovação tecnológica impelida pela informática nos dias atuais, a documentação da Arquitetura e das cidades tem refletido as transformações da técnica e da cultura ao longo dos séculos.

Da análise crítica empreendida surgiram elementos para repensar algumas questões fundamentais para elucidar as relações entre fotogrametria e Arquitetura. Poderíamos até mesmo sugerir que a fotogrametria arquitetônica não está relegada simplesmente a um conjunto de técnicas e instrumentos de levantamento do ambiente construído pela humanidade, mas também existe como processo cognitivo. Do mesmo modo, entendo por tecnologia digital não apenas o conjunto das constantes inovações de *softwares* e *hardwares*, mas também uma nova forma de produção de conhecimento, onde os novos suportes, conexões e interfaces atuam direta e continuamente sobre o conjunto de informações atualizadas sobre o mundo.

Não temos uma resposta definitiva sobre o uso concomitante da tecnologia analógica e da tecnologia digital na fotogrametria arquitetônica, mas há uma indicação dessa possibilidade, a partir das leituras realizadas, mesmo porque, no contexto brasileiro, acredito ser improvável passar do analógico ao digital sem falar em hibridação. Afinal, é possível se falar em um modelo híbrido, não apenas aproveitando-se a vantagem dos modelos analógico e digital separadamente, mas, sobretudo, por uma certa lacuna tecnológica existente. Desse modo, a concepção de um modelo híbrido de tecnologias para a documentação, a simulação e o projeto em Arquitetura e Urbanismo passaria por uma discussão do papel do arquiteto como coordenador de projetos de documentação e planejamento envolvendo diversos técnicos especialistas. Isso ocorre, em especial, no caso da tecnologia digital, em que, na maioria das vezes, o arquiteto atua como operador de programas computacionais e instrumentos técnicos sofisticados, em detrimento do significado das informações analisadas.

Se Lévy fala que os produtos tecnológicos da atualidade ultrapassam uma adequação exclusiva ao uso instrumental e previsível, tornando-se importantes fontes de

imaginário, eu ousar dizer que essa ampliação nos impinge uma preocupação não apenas com o resultado final e com a obra acabada, mas também com os processos de produção da informação, sob o risco de nos tornarmos meros operadores, deslocados tanto do resultado quanto dos objetos pesquisados.

A especialização do conhecimento, intensificada a partir do século XIX, atingiu tal nível que se tornou inconcebível a prática da arquitetura sem pensar em interdisciplinaridade, ou seja, na contribuição das diversas disciplinas envolvidas em determinado projeto com o intuito de encontrar soluções concretas com base nas experiências locais, enfocadas em cada disciplina. E, nesse sentido, seria oportuno falar de interfaces, não apenas no domínio dos instrumentos tecnológicos, mas também na superfície de contato, de tradução, de articulação entre duas ordens de realidades diferentes: do analógico para o digital, da representação para a apresentação de modelos simulados, do real para o virtual, do texto para o hipertexto.

Assim, a simulação de modelos computacionais não seria exatamente uma oposição, ou ainda uma exclusão do real, pois o modelo simulado apresenta ao usuário possibilidades ao real adequadas a uma apreciação numa temporalidade específica, a do tempo-real. O modo dialógico sobre o qual se estabelecem as relações entre o arquiteto, suas obras e a cidade, exige um imediatismo quase absoluto. A interatividade exclui toda espera, alterando as configurações do espaço-tempo, produzindo uma nova espacialidade. Se, no caso da arte, não há mais a hegemonia da contemplação sobre o modo dialógico de percepção, nem se estabelece a distância temporal necessária à oposição entre obra e espectador, na Arquitetura também se refletem as mudanças em consequência de uma sincronia cada vez mais constante entre a criação e a crítica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTI, Leon Battista. *Descriptio Urbis Romae*. **Babel - Textos de Arquitetura e Urbanismo**. Disponível em <[www.eesc.sc.usp.br/babel](http://www.eesc.sc.usp.br/babel)>. Acesso em: 05 maio 2006.
- ALBERTI, Leon Battista. **Matemática Lúdica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006.
- ALBERTI, Leon Battista. **The Ten Books of Architecture**. New York: Dover Publications, 1986.
- ALBERTI, Leon Battista. **Da Pintura**. Campinas: Editora da Unicamp, 1999.
- ALBERTZ, Jörg. Albrecht Meydenbauer – Pionner of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIPA, 18., 2001, Potsdam, **Proceedings...** Potsdam: CIPA, 2001. p. 19-25.
- ATKINSON, K. B. **Deville and Photographic Surveying**. In: Photogrammetric Record. Vol 15 (86), 1995, p. 189-195.
- BAUMANN, Pierre. **Histoire des Mathématiques**. Strasbourg: Université Louis Pasteur, 2005.
- BARDESCHI, M. Dezzi. Geomatic for conservation: “the shadow and the reality”. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIPA, 20., 2005, Torino, **Proceedings...** Torino: CIPA, 2005. p. 220-225.
- BARTHES, Roland. **A Câmara Clara**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1984.
- BENJAMIM, Walter. Pequena História da Fotografia. In: **Magia e técnica, arte e política**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1994, p. 91-107.
- BENJAMIM, Walter. A Obra de Arte na Era de sua Reprodutibilidade Técnica. In: **Magia e técnica, arte e política**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1994, p. 165-198.
- BLADE Runner. Direção: Ridley Scott. Produção: Michael Deeley. Intérpretes: Harrison Ford; Rutger Hauer; Sean Young e outros. Roteiro: Hampton Fancher, David Peoples. Colorado, (114 min.).
- BOEHLER, W. Documentation, Surveying, Photogrammetry. In: COLLOQUIUM CIPA: MAPPING AND PRESERVATION FOR THE NEW MILLENIUM, 17., 1999, Olinda, **Proceedings...** Olinda: CIPA, 1999. p. 278-284.
- BRANDÃO, Carlos Antônio Leite. **Quid tum?: o combate da arte em Leon Battista Alberti**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2000.
- BUSH, Vannevar. As we may think. **The Atlantic Online**. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/doc/194507/bush>>. Acessado em: 10, maio, 2006.

BUSSAGLI, Marco. A Misura d'Uomo. **Art e Dossier**. Disponível em: <<http://matematica.uni-occoni.it/leonardo/uomo.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2005.

CARBONNELL, Maurice. **Introduction a L'application de la Photogrammetrie aux Edifices et aux Ensembles Monumentaux Anciens**. In: Proceedings of the Colloquium on the Applications of Photogrammetry to Architecture. Paris: ICOMOS, 1968.

CHASLES, Michel. **Aperçu Historique sur l'Origine et Développement des Méthodes en Géométrie**. Sceaux: Éditions Jacques Gabay, 1989.

COUCHOT, Edmond. Da representação à simulação: evolução das técnicas e das artes da figuração. In: PARENTE, A. (org.) **Imagem Máquina: A Era das Tecnologias do Virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 2004.

COUCHOT, Edmond. **A Tecnologia na Arte: da Fotografia à Realidade Virtual**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2003.

CURLESS, Brian Lee. **New Methods for Surface Reconstruction from Range Images**. Tese de Doutorado em Ciência da Computação. Stanford University, 1997.

DEBEVEC, Paul Ernest. **Modeling and Rendering Architecture from Photographs**. Tese de Doutorado em Ciência da Computação. University of California at Berkeley, 1996.

DEMAUS, Robert. Non-Destructive Investigations. **The Building Conservation Directory**. Disponível em: <<http://www.buildingconservation.com/articles/>>. Acesso em: 11 dez. 2005.

DONEUS, Michael. Anaglyph images: still a good way to look at 3D objects? In: COLLOQUIUM CIPA: MAPPING AND PRESERVATION FOR THE NEW MILLENIUM, 17., 1999, Olinda, **Proceedings...** Olinda: CIPA, 1999. p. 298-304.

FAUGERAS, Olivier, LUONG, Quang-Tuan. **The geometry of Multiple Images: the laws that govern the formation of multiple images of a scene and some of their applications**. Massachusetts: MIT Press, 2001.

FÖRSTNER, Wolfgang. Computer vision and Photogrammetry-Mutual Questions: Geometry, Statics and Cognition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM PHOTOGRAMMETRY MEETS GEOINFORMATICS, 2002, 1., Bonn, **Proceedings...** Bonn, 2002. p. 98-108.

HERODOTUS. **Historia**, 2001. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/etext/2707>>. Acesso em: 08 nov. 2005.

HORADAM, A. F. Eight hundred years young, In: **The Australian Mathematics Teacher**, nº. 31, 1975, p. 123-134.



- KARARA, H. M. Non-Topographic Photogrammetry. In: SLAMA, C. **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980, p. 785-875.
- KOSSOY, Boris. **Hércules Florence**: 1833, a descoberta isolada da fotografia no Brasil. São Paulo: Editora Duas Cidades, 1980.
- LA PRADE, George L. Stereoscopy. In: SLAMA, C. **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980, p. 519-544.
- LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.
- MONGE, Gaspard. **Géométrie Descriptive**. Sceaux: Éditions Jacques Gabay, 1989.
- NEGROPONTE, Nicholas. **The Architecture Machine**. Massachusetts: MIT Press, 1970.
- NORDBLADH, Jarl. Documentation as Part of the Research Process: some considerations actualized by the application of the photogrammetric measuring techniques in history of culture. In: SCHMIEDT, G. **Fotogrametria dei Monumenti**. Florença: Libreria Editrice Fiorentina, 1975, p. 159-170.
- PARENTE, José Inácio. **A estereoscopia no Brasil de 1855-1955**. São Paulo: Sextante, 1999.
- PÉREZ-GÓMEZ, Alberto. **Architecture and the crisis of Modern Science**. Massachusetts: MIT Press, 1988.
- PLAZA, Julio, As imagens de Terceira Geração, Tecno-Poéticas. In: PARENTE, A. (org.) **Imagem Máquina: A Era das Tecnologias do Virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 2004, p.72-88.
- REZENDE, Wagner de Souza. **Conjunto urbano da rua dos Caetés – estudo da evolução urbana**. PIBIC-CNPQ, 1997. 45 p. Relatório Técnico.
- RONCHI, Vasco. Optics and Vision. **Dictionary of the History of Ideas**. Disponível em: <<http://etext.virginia.edu/DicHist/dict.html>>. Acesso em: 12 jan. 2006.
- RUSINKIEWICZ, Szymon Marek. **Real-Time Acquisition and Rendering of Large 3D Models**. Stanford University, 2001.
- SILVA, Tânia Regina Fraga da. **Simulações Estereoscópicas Interativas**. Tese de Doutorado em Comunicação e Semiótica. PUC - São Paulo, 1995.
- THOMPSON, Morris M. Foundations of Photogrammetry. In: SLAMA, C. **Manual of Photogrammetry**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980, p. 1-36.
- VAGNETTI, Luigi. Considerazioni sui Ludi Matematici, in “Studi e Documenti di Architettura”, n.1, **Omaggio ad Alberti**, 1972, p. 173-260.

VAGNETTI, Luigi. Lo studio di Roma negli scritti albertiani, in **Convegno Internazionale Indetto nel V Centenario di Leon Battista Alberti**, Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1974, p. 73-140.

VASARI, Giorgio. **Le vite de' più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri**. A cura di Luciano Bellosi e Aldo Rossi. Torino: Einaudi, 1986.

VIRILIO, Paul. **O Espaço Crítico**. São Paulo: Editora 34.

VITRUVIUS, Marco Polion. **The Ten Books on Architecture**. New York: Dover Publications. 1960.

WEISSBERG, Jean-Louis. Real e Virtual. In: PARENTE A. (org.) **Imagem Máquina: A Era das Tecnologias do Virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 2004, p. 117-126.

WHEATSTONE, Charles. **Contributions to the Physiology of Vision: on some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision**. London: King's College. 1999.

WHITE, Michael: **Leonardo, O primeiro Cientista**. Portugal: Publicações Europa-América. 2003.