

# Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso

## Object 3D Scanning: a case study

**Gabriela Celani**

*Departamento de Arquitetura e Construção, FEC, UNICAMP, Brasil.*

*Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, celani@fec.unicamp.br, www.fec.unicamp.br/~lapac*

**Laura Cancherini**

*Curso de Engenharia Civil, FEC, UNICAMP, Brasil.*

*Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, lauracanc@hotmail.com*

**Abstract.** *The present research is an exploratory study about medium-range 3D-scanning technologies for architectural applications. Its purpose was to gather information that will subsidize the future acquisition of a 3D-scanning equipment for the Laboratory for Automation and Prototyping for Architecture and Construction, LAPAC, at the University of Campinas (UNICAMP). In order to test some of these technologies, some experiments were carried out. Museum sculptures were digitized and the results were 3D-printed. Preliminary results show that accurate technologies are still very expensive, but there are some alternative, more accessible technologies, based on photogrammetry, which can lead to fairly good results.*

**Palavras chave.** *Digitalização 3D; scanner 3D; fotogrametria; maquete arquitetônica.*

## Introdução

Esta pesquisa consiste em um estudo exploratório sobre tecnologias de digitalização tridimensional de média distância para aplicações em arquitetura. Ela foi realizada com o intuito de levantar informações que darão subsídios à aquisição de um equipamento de digitalização pelo Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC) da UNICAMP. Com o objetivo de testar algumas das tecnologias estudadas, foram realizados experimentos de digitalização de esculturas para posterior impressão 3D. Os resultados obtidos indicam que as tecnologias mais precisas são ainda bastante caras, mas que existem técnicas fotogramétricas que também podem gerar bons resultados, sendo muito mais acessíveis.

## A digitalização 3D

A obtenção de dados tridimensionais a partir de fotografias pelo método da perspectiva inversa é uma técnica muito antiga, utilizada para extrair dimensões a partir de fotografias de objetos dos quais ao menos algumas dimensões e ângulos são conhecidos. Mais recentemente, com a disponibilidade de equipamentos óticos digitais de alta precisão e de técnicas de visão computacional, essa área tomou grande impulso, dando origem ao que hoje se chama digitalização tridimensional.

A aquisição de dados tridimensionais de maneira automatizada tem sido utilizada principalmente pela indústria mecânica para o desenvolvimento de projetos por meio de engenharia reversa e para a verificação da precisão de peças fabricadas a partir de modelos digitais. Na arquitetura e construção, embora ainda pouco utilizada, a digitalização também possui diversas aplicações, em diferentes escalas e com diferentes objetivos.

## Categorização das tecnologias disponíveis

As tecnologias de digitalização 3D podem ser categorizadas de acordo com a técnica utilizada ou de acordo com sua distância de ação.

No que se refere à distância de ação, podem ser grupadas em distâncias curtas, médias, longas e muito longas, as quais atendem a diferentes aplicações em arquitetura.

As técnicas voltadas a distâncias muito longas possuem aplicações na área de planejamento urbano, permitindo a realização de levantamentos aéreos de grandes áreas urbanas.

As de longa distância permitem o levantamento de edifícios inteiros e de conjuntos de edifícios. Algumas vezes são combinadas a equipamentos de posicionamento geográfico, como as estações totais.

As de curto e médio alcance permitem a digitalização de objetos como elementos construtivos, detalhes arquitetônicos, esculturas e ornamentos, além de maquetes. Algumas técnicas de curto e médio alcance utilizam elementos referenciais para calibração, como fundos quadriculados ou marcadores aplicados aos objetos, que são reconhecidos automaticamente pelo software. Outras possuem sensores presos a braços articulados, que auxiliam a dar maior precisão à leitura de dados.

No que se refere à tecnologia utilizada, existem 2 grupos principais de técnicas de digitalização 3D: por contato e sem contato. A técnica por contato utiliza sensores ou apalpadores que são encostados em diversos pontos do objeto, de maneira automática ou manual. Essa técnica limita-se a distâncias curtas.

As técnicas sem contato subdividem-se em três tipos básicos de tecnologia:

- a comparação entre imagens de um mesmo objeto obtidas a partir de pontos diferentes (estereopar)
- a análise da deformação da luz projetada sobre um objeto (luz estruturada)
- a obtenção de medidas polares (distância + ângulo) por meio da contagem do tempo que uma determinada radiação leva até alcançar um objeto (time of flight)

Esta proposta de categorização das técnicas sem contato não foi encontrada em nenhuma referência bibliográfica; trata-se de uma proposta das autoras, feita com base nos experimentos realizados e na bibliografia levantada sobre diferentes técnicas de digitalização 3D (e.g. Boehler, Heinz e Marbs, 2001; Sternberg, Kersten, Jahn e Kinzel, 2004; Barber, Mills e Bryan, 2001; Iuliano e Minetola, 2005; Achille et. al., 2007).

A maioria das técnicas de digitalização 3D combina pelo menos duas das três técnicas básicas descritas acima. Por exemplo, o sistema Spatium 3D, desenvolvido no Brasil, combina a projeção de luz

# SIGraDi 2009 sp

estruturada com estereometria para a aquisição da geometria, e ainda faz a aplicação da textura do objeto original, obtida por imagens fotográficas, sobre o modelo digital.

A reconstrução de estereopares, inspirada no sistema de visão humano, consiste na comparação entre as perspectivas de duas imagens obtidas a partir de pontos diferentes. Essa comparação é feita por meio do processamento digital de imagens. Alguns sistemas requerem equipamentos especiais para que as duas fotografias sejam obtidas a partir de pontos com distanciamento conhecido.

A luz estruturada consiste na análise da distorção de um determinado padrão sobre o objeto que está sendo digitalizado. Para isso, projeta-se uma imagem geométrica ou feixes de luz sobre o objeto. Em seguida é feita uma análise computacional das imagens. Esta técnica requer hardware e software especiais, mas pode variar bastante em termos de custo. Existem versões “caseiras”, como o David Laser Scanner, que faz uso de um ponteiro a laser de baixo custo, porém com resultados de mais baixa qualidade. Alguns sistemas só funcionam sob condições especiais de iluminação, ou requerem o uso de marcadores sobre o objeto a ser escaneado.

Finalmente, a técnica conhecida como time-of-flight consiste em tomar inúmeras medidas de distância em direções conhecidas. Essas medidas são feitas por meio da contagem do tempo que um pulso de laser ou outro tipo de luz demora até atingir o objeto e voltar até o aparelho. Para isso, o equipamento possui um emissor de radiação e um receptor. A partir dessas distâncias e ângulos de direção (coordenadas polares) é possível reconstruir o objeto. Esta técnica só funciona para distâncias longas, pois como a velocidade da luz é muito alta, em curtas distâncias sua precisão é muito pequena.

A Tabela 1 apresenta uma correlação entre as principais técnicas de digitalização e seu alcance. É possível notar que a comparação de estereopares é a técnica mais flexível, podendo ser aplicada em todas as escalas. Essa técnica pode ser aplicada a diferentes tipos de imagens, desde imagens fotográficas até imagens sub-aquáticas obtidas por sonares e por imagens aéreas obtidas por radares aerotransportados.

técnica/ alcance	curto/médio objeto	longo edifício	muito longo área urbana
contato	x		
estereopar	x	x	x
luz estruturada	x	x	
time of flight		x	x

## Aplicações da digitalização de curto e médio alcance

Como dito acima, as técnicas de digitalização de pequeno e médio alcance permitem a digitalização de detalhes arquitetônicos, como esculturas e ornamentos, além de maquetes.

A digitalização de detalhes arquitetônicos está relacionada em geral à produção de maquetes de edifícios históricos por meio da prototipagem rápida, ou à reprodução de elementos construtivos por meios automatizados em trabalhos de restauro. Um ornamento quebrado pode ser digitalizado, manipulado digitalmente para correção de seus defeitos, e esculpido por meio de uma fresas de controle numérico.

A digitalização de maquetes, por outro lado, pode ser aplicada no processo de projeto, tal como descrito em Celani et al. (2009). Um modelo geométrico obtido a partir da digitalização de uma maquete

confeccionada manualmente pode ser manipulado e editado facilmente, e a partir dele pode-se produzir desenhos para a construção do edifício, obter novas maquetes por meio da prototipagem rápida, ou ainda fabricar partes do edifício, por meio de técnicas de fabricação digital.

### Realização de testes

Com o objetivo de selecionar um sistema de digitalização a ser adquirido pelo LAPAC, foram testados os seguintes sistemas de digitalização 3D de médio alcance: David Laser Scanner, Photomodeler Scanner, Spatium 3D, Modelmaker X, Vivid 910 Konica Minolta. Os dois primeiros sistemas, de custo mais baixo foram adquiridos; o sistema Spatium 3D foi testado no LOPCA, um laboratório da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, e os demais sistemas foram testados nas empresas que os representam, respectivamente a SEACAM e a CCS Engenharia e Manufatura Digital.

A realização dos testes resultou na tabela 2, que resume as principais características de cada sistema. Os sistemas são apresentados na Figura 1.



Figura 1. Sistemas testados, de 1 a 5.

Os dados obtidos por meios dos diferentes tipos de sistemas de digitalização 3D dão origem a nuvens de pontos, que precisam então ser trianguladas para serem convertidas em superfícies “renderizáveis”. Essas superfícies, por suas vez, precisam ser fechadas para que os modelos possam ser impressos em impressoras 3D ou esculpidos com fresas de controle numérico. Para isso é necessário combinar diversas digitalizações obtidas a partir de diferentes pontos de vista, de modo a cobrir toda a superfície do objeto. A combinação exata dessas diversas digitalizações, a eliminação de “ruídos” (pontos posicionados incorretamente, gerados por reflexos) e o preenchimento de pontos negros, sem informação, constituem-se na tarefa mais complicada de todo o processo, e em geral exigem o uso de software específico, como o Geomagic. Isso acrescenta um custo e tempo de trabalho extra ao processo.

## Estudo de caso

O estudo de caso consistiu em digitalizar algumas esculturas da Pinacoteca do Estado, com o objetivo de produzir miniaturas dessas obras, por meio de impressão 3D, uma técnica de prototipagem rápida. As miniaturas produzidas farão parte de uma maquete do museu que será utilizada pelos seus curadores para o planejamento de exposições.

Este estudo de caso foi realizado apenas com o software Photomodeler, em suas versões Standard e Scanner. A versão Standard do software permite realizar modelagem 3D de maneira assistida. O usuário deve clicar nas arestas do objeto fotografado e informar ao software quais as arestas correspondentes nas diferentes imagens. Essa versão só funciona para objetos com formas geométricas.

Tabela 2. Principais características dos sistemas testados				
sistema	tecnologia	forma de	custo valores	resultados obtidos
1. David laser scanner	luz estruturada + calibração de fundo	obtenção comprado pela internet	aproximados 90 euros	Exigência de realização da digitalização no escuro na inviabilizou o uso em laboratório e Pinacoteca. Muito ruído, pouca precisão.
2. Photomodeler scanner	estereopar + uso de marcadores óticos	comprado pela internet	2700 dólares	É prático, pois não é preciso carregar equipamentos ao local, apenas uma câmera fotográfica, mas só funciona com objetos claros e não-reflexivos. Modelos 3D obtidos não eram "fechados" e precisaram ser rtrabalhados.
3. Spatium 3D	luz estruturada + estereopar	LOPCA, FEQ-UNICAMP	100.000 dólares, incluindo o software Geomagic	A calibragem se mostrou muito difícil. Os modelos obtidos possuíam excesso de detalhe, com arquivos muito pesados. O equipamento é de difícil transporte.
4. Model Maker X	luz estruturada de curto alcance, montado sobre braço flexível	SEACAM, São Paulo	100.000 dólares com braço flexível	A modelagem obtida foi a mais perfeita, inclusive de objetos escuros e brilhantes, mas o equipamento é difícil de ser transportado e o braço limita o alcance das medições. Os modelos obtidos possuíam excesso de detalhe, com arquivos muito pesados.
5. Vivid 910	luz estruturada de médio alcance	CCS Engenharia e Manufatura Digital	35.000 dólares sem o tripé	Permite a digitalização de esculturas, maquetes e ornamentos arquitetônicos, inclusive em bronze, desde que com pouco brilho. Apesar de um pouco pesado, é de fácil transporte e de fácil uso desde que se tenha um tripé adequado.



Figura 2. Estudo de caso: fotografiação, processamento e impressão-3D.

Na versão Scanner o processamento é feito de maneira automática, mas é preciso tirar as fotos com a aplicação de marcadores especiais sobre o objeto. Nem todas as esculturas digitalizadas puderam ser fechadas e impressas na impressoras 3D. Um dos resultados obtidos com os recursos da versão Scanner é apresentado na Figura 2.

## Discussão

A realização de testes com diversas tecnologias de digitalização 3D de curto e médio alcance permitiu que se compreendesse como essas tecnologias funcionam, quais suas limitações, custos e níveis de dificuldade de uso. Uma descoberta inesperada foi a necessidade de aquisição do software Geomagic, sem o qual é muito difícil manipular as nuvens de pontos geradas.

O estudo de caso permitiu avaliar o software Photomodeler em suas duas versões, e perceber que existem ainda diversas dificuldades intrínsecas aos diferentes tipos de materiais dos objetos a serem digitalizados, pois eles podem ser

demasiadamente reflexivos ou muito delicados, não permitindo qualquer tipo de manipulação ou aplicação de adesivos ou sprays branqueadores. Existem ainda dificuldades relacionadas ao nível de iluminação do ambiente da digitalização. Embora a técnica utilizada no estudo de caso não exija o transporte de equipamentos especiais, mas apenas de uma câmera fotográfica e de um fundo escuro, foi possível notar que o transporte de equipamentos pesados em um museu seria algo bastante complicado.

Espera-se que esta pesquisa possa contribuir com a disseminação do uso das técnicas de digitalização 3D de curto e médio alcance para aplicações em arquitetura.

## Agradecimentos

À FAPESP, pela bolsa concedida a Laura Cancherini.

## Referencias

- Achille, C., Brumana, R., Fassi, F., Fregonese, L., Monti, C., Taffurelli, L. and Vio, E. TRANSPORTABLE 3D ACQUISITION SYSTEMS FOR CULTURAL HERITAGE: REVERSE ENGINEERING AND RAPID PROTOTYPING OF THE BRONZE LIONS OF THE SAINT ISIDORO CHAPEL IN THE BASILICA OF SAN MARCO IN VENICE. XXI International CIPA Symposium, 01-06 October. Athens, 2007.
- Barber, D., J. Mills and P. Bryan. "Laser Scanning and Photogrammetry: 21st Century Metrology." Proceedings of the Surveying and Documentation of Historic Buildings - Monuments - Sites Traditional and Modern Methods, CIPA 2001 International Symposium, Potsdam (2001).
- Boehler, W., G. Heinz and A. Marbs. "The Potential of Non-contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording." XVIII CIPA International Symposium, Potsdam, Germany, Proceedings (2001). 8.
- Celani, G., Cancherini, L., Jardini, A., Oliveira, M., Lopes da Silva, J. V., e Piccoli, V. 3D digitation of museum sculptures for model-making purposes: difficulties and possible solutions. In Anais do VRAP 2009. Lisboa, 2009.
- Iuliano, L. and Minetola, P. RAPID MANUFACTURING OF SCULPTURES REPLICAS: A COMPARISON BETWEEN 3D OPTICAL SCANNERS. CIPA 2005 XX International Symposium. Torino, 2005.
- Sternberg, H., T. Kersten, I. Jahn, and R. Kinzel. "Terrestrial 3D Laser Scanning - Data Acquisition and Object Modelling for Industrial As-Built Documentation and Architectural Applications." The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol XXXV, Commission VII, Part B2. 2004. 942-947.