

## Geração de Modelo Tridimensional do Teatro do Paiol a partir do Emprego da Tecnologia Laser Scanner Terrestre

Ana Paula Baungarten Kersting <sup>1</sup>

Prof. Dr. Jorge Silva Centeno <sup>2</sup>

Carlos Eduardo Felsky Filho <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
81531-990 Curitiba PR

<sup>1,3</sup> LACTEC – Depto de Informações Georreferenciáveis  
80.011-970 Curitiba PR

<sup>1</sup> ✉ [anapaula@lactec.org.br](mailto:anapaula@lactec.org.br), <sup>2</sup> ✉ [centeno@ufpr.br](mailto:centeno@ufpr.br), <sup>3</sup> ✉ [carlosfelsky@lactec.org.br](mailto:carlosfelsky@lactec.org.br)

Conteúdo	
	<b>1 Introdução</b>
	<b>2 Objeto de Estudo</b>
	<b>3 Laser Scanner Terrestre</b>
	<b>4 Metodologia</b>
	<b>5 Conclusão</b>
	<b>6 Referências bibliográficas</b>

**Resumo:** No presente artigo é apresentado o resultado de uma experiência realizada aplicando metodologias de varredura a laser (*laser scanning*) terrestre, de curta distância, com a finalidade de se obter uma descrição geométrica da fachada de um prédio circular, difícil de ser levantado utilizando fotografias convencionais a curta distância. O objetivo da documentação está relacionado à preservação do patrimônio cultural da cidade de Curitiba, uma vez que este prédio é considerado histórico e uma das atrações turísticas da cidade.

**Palavras chave:** *laser scanner, patrimônio histórico, documentação, 3D*

**Abstract:** This paper is meant to provide the results of the application of a terrestrial laser scanner for the documentation of a historical building. The aim is evaluate the advantages of laser scanner in comparison to conventional photogrammetric surveys. The result is a tridimensional model of the object, with real textures derived from colour photographs.

**Keyword:** *laser scanner, heritage, documentation, 3D*

### 1 Introdução

Um dos aspectos fundamentais da cultura de uma sociedade está associado à arquitetura. Ela é um dos meios de expressão de um determinado momento histórico ou cultural, bem como traduz a identidade de um determinado grupo étnico ou social. A preservação de construções típicas e prédios públicos com características arquitetônicas representativas é hoje uma preocupação da sociedade. No entanto, como muitas delas se encontram no núcleo velho das grandes cidades, a taxa de deterioração e até perda das mesmas é preocupante.

Os esforços orientados à preservação são, muitas vezes, insuficientes, devido ao elevado número de monumentos. No Brasil, a situação é particularmente alarmante, devido à taxa de expansão urbana e ao grande número de cidades onde eles se encontram. Esta preocupação se aplica não somente a prédios isolados, mas, como a Carta de Veneza (ICOMOS, 1964) salienta, deve ser estendida também ao meio ambiente no qual elas se localizam, de maneira a preservar o conjunto. No seu artigo segundo, a mesma carta salienta que “na preservação e restauração dos monumentos devem ser aplicados os recursos de todas as ciências e técnicas que possam contribuir ao estudo e proteger da herança arquitetônica”.

O relatório “herança em risco 2002/2003” do ICOMOS (ICOMOS, 2004) é prova de que a situação do patrimônio cultural é ainda altamente crítica em muitas regiões do mundo. Os fatores apontados como ameaças são as guerras, verificadas recentemente em lugares históricos, e a falta de responsabilidade e compromisso necessários da sociedade para preservar o patrimônio ameaçado.

A completa preservação do patrimônio é o ideal, mas este ideal é difícil de ser atingido em função dos altos custos que implica. Quando a restauração não é possível, pelo menos deve existir a documentação para garantir ações de restauração futuras. Sem a documentação do patrimônio histórico e cultural, não é possível aprender sobre o passado. Um dos recursos mais eficazes no processo do aprendizado é o sentido da visão, muito do que aconteceu no passado é resgatado através da visualização de materiais presentes em museus, documentários em televisão ou leitura. O ser humano possui uma natureza visual.

Atualmente dispõe-se de uma nova tecnologia que vai além dos métodos tradicionais que empregam equipamentos conhecidos como câmeras digitais, teodolitos e distanciômetros eletrônicos para documentação de nosso patrimônio cultural. Trata-se da tecnologia de digitalização tridimensional por varredura a laser, conhecida como *laser scanning*, que está disponível para a documentação de patrimônio histórico-cultural e atualmente possui algumas facilidades devido ao grande crescimento das pesquisas envolvendo tecnologias para aquisição e para a visualização dos dados em ambientes de realidade virtual.

Esta tecnologia refere-se a um sistema portátil de varredura laser para levantamento e modelagem de formas reais. Este sistema permite capturar, visualizar e modelar tridimensionalmente cenas complexas com rapidez e alta precisão.

Este trabalho tem a finalidade de mostrar a capacidade do equipamento e a sua utilidade para a preservação do patrimônio cultural em um caso real de aplicação, onde a construção de um modelo tridimensional baseado em dados adquiridos por varredura digital a laser foi realizada.

## 2 Objeto de Estudo

Como objeto de estudo foi escolhido o Teatro do Paiol, na cidade de Curitiba. Este prédio foi construído em 1874 e foi utilizado como paiol de pólvora. A construção se destaca por suas características arquitetônicas romanas. Trata-se de um antigo depósito de pólvora, de construção circular que foi desativado pelo Exército do Brasil. Em 1971 este velho arsenal foi recuperado e transformado em um teatro de arena. Mantendo as características da construção original, o prédio foi reformado para abrigar um teatro em formato de arena com 225 lugares. Este teatro, denominado Teatro do Paiol, foi inaugurado em 1971 e faz parte dos atrativos turísticos da cidade de Curitiba.

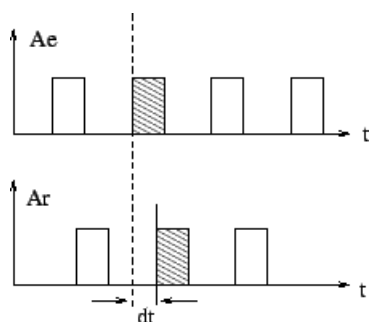
## 3 Laser Scanner Terrestre

O sistema de varredura laser é um sistema usado para a determinação da posição tridimensional dos pontos de uma superfície utilizando um sistema de varredura bidimensional. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte deste sinal é refletido na direção do sensor, onde é medido junto com o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno, a distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada. Junto com este tempo, a intensidade do retorno também é medida, pois ela oferece informações a respeito das características da superfície naquele ponto.

O sistema de varredura a laser pode ser dividido em três componentes principais: a unidade de medição laser propriamente dita, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura optomecânico e uma unidade de registro de medições de apoio. A unidade de medição laser é responsável pela determinação da distância entre o sensor e a superfície. Para isto existem duas alternativas: o sistema de pulsos e o sistema de onda contínua. O sistema de pulso é o mais usado e se baseia na emissão e recepção de curtos pulsos de energia. A distância é determinada em função do tempo necessário para que o sinal emitido percorra o trecho entre o sensor e o objeto de ida e de volta. No sistema de pulso, o tempo de retardo (dt) é medido em relação a um ponto determinado do pulso, por exemplo seu início, como é mostrado na figura 1. A diferença entre a emissão do sinal e o registro do retorno pode ser determinado analisando o retardo do pulso captado em relação ao emitido. Então, a distância entre o sensor e a superfície (range) é dada por:

$$R = c * dt / 2$$

(1)



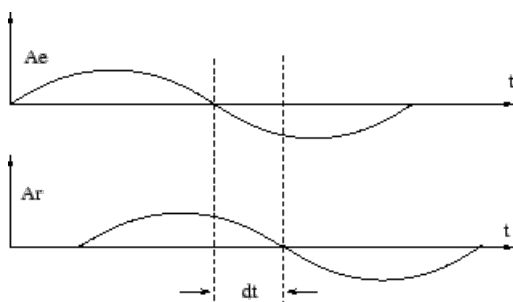
**Fig. 1 :** Princípio de medição de tempo no sistema de pulso (Adaptado de Wehr & Lohr [1999])

A resolução do sistema de pulso em termos de distância é determinada pelo afastamento e a duração do pulso, ou seja a resolução da medida do intervalo de tempo:

$$DR = c * Ddt / 2$$

(2)

No sistema de ondas contínuas, o intervalo entre a emissão e registro do retorno é determinado calculando a defasagem da onda de retorno em relação à onda emitida, como mostra a figura 2. O intervalo entre a emissão e o registro do retorno é diretamente proporcional à diferença de fase (f) entre a onda emitida e a recebida. Sendo conhecido o período "P" da onda, o intervalo entre os dois eventos (emissão e recepção) pode ser calculado (Baltasvias, [1999] ).



**Fig. 2 :** Princípio de medição de tempo no sistema de onda contínua

Conhecendo-se a diferença de fase, a distância (range) pode ser determinada como:

$$R = (f * c) / (4 * p * f) \quad (3)$$

A resolução do sistema em termos de distância é determinada pela resolução da medida do intervalo de tempo:

$$DR = (Df * c) / (4 * p * f) \quad (4)$$

Na varredura a laser, o feixe deve ser direcionado a vários pontos do objeto com o objetivo de cobrir uma faixa. O sistema de varredura é diferente em função do fabricante. Os mecanismos mais conhecidos são o uso de espelhos móveis, que produzem linhas paralelas ou em zig-zag, e o espelho em forma de polígono rotatório, que produz linhas paralelas.

No processo de varredura, a medição de dois ângulos, para cada ponto, é condição necessária para o cálculo das coordenadas dos pontos associadas a cada pulso captado. Como mostra a figura 3, o ângulo horizontal e o ângulo vertical (a e b), junto com a distância medida pelo feixe e a posição do sensor possibilitam determinar a coordenada de cada ponto varrido. Quando não é necessário amarrar as medições a um sistema de referência, a posição exata do sensor em cada tomada não é necessária, sendo o modelo ajustado para uma posição relativa. A determinação dos ângulos é feita pelo sistema durante a varredura. A variação em termos de linhas permite determinar o ângulo vertical (b) enquanto a variação em termos de colunas é associada ao ângulo horizontal instantâneo (a).

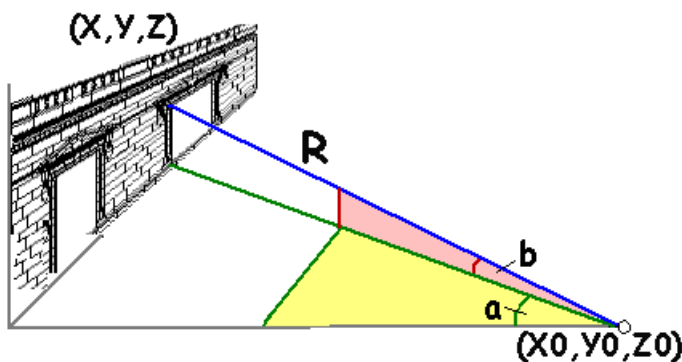


Fig. 3 : Geometria da varredura laser

## 4 Metodologia

Para a realização do levantamento foi utilizado o equipamento de varredura a laser ILRIS-3D da empresa canadense Optech. Da mesma forma que um distanciômetro eletrônico ou uma estação total, este equipamento é portátil e montado sobre um tripé (Figura 4). O sistema é composto por uma unidade ótico-mecânica de emissão de feixes laser e um receptor digital da intensidade de retorno dos feixes. Um dispositivo portátil – Palm OS – com o software de controle é conectado ao equipamento. Adicionalmente, uma câmera digital pode ser empregada em conjunto com o levantamento, fornecendo uma maneira conveniente para criação do modelo usando as cores naturais RGB. A distância equipamento-objeto varia tipicamente de 3 a 350 m, sendo que pode-se ter alcances de até 1 km. Os dados são coletados a uma taxa de repetição do pulso laser de 2000 Hz e são armazenados em uma unidade de memória interna removível do tipo Compact Flash padrão de mercado, cujo tamanho de armazenamento pode variar desde 128 Mb até 1 Gb ou mais.

O equipamento dispõe de uma tela de cristal líquido para visualização, onde a área desejada para o levantamento pode ser selecionada e o andamento da varredura pode ser acompanhado. A resolução desejada para o levantamento é configurada através do Palm OS com a utilização do software de controle.



Fig. 4 : Sistema de varredura a laser

Um conjunto de duas baterias externas de alta capacidade garante o funcionamento em operações de até 2.5 horas, sendo que há opções alternativas para alimentação como cabo para ligação em corrente elétrica residencial. Há também um conjunto opcional de carregador solar para uso em áreas com iluminação intensa.

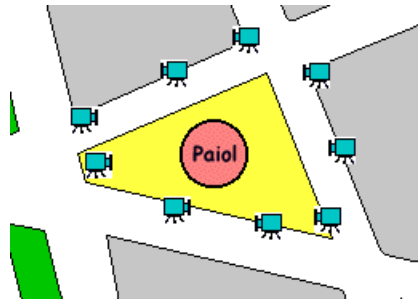
Foram realizadas 9 tomadas em pontos diferentes. Teoricamente seriam necessárias apenas 4 tomadas para que toda a extensão da construção fosse mapeada. No entanto mais tomadas foram necessárias, devido a impossibilidade de colocar o equipamento a uma distância suficiente para um recobrimento adequado (devido a obstáculos presentes no campo de imageamento) e aquisição de quantidade suficiente de pontos homólogos. A figura a seguir representa o croqui da aquisição dos dados.

Junto com a varredura a laser foram adquiridas fotografias desde cada estação. Para isto, o equipamento conta com a opção de acoplar uma câmera digital no eixo do sensor. Assim a fotografia é obtida no mesmo momento da tomada dos dados tridimensionais.

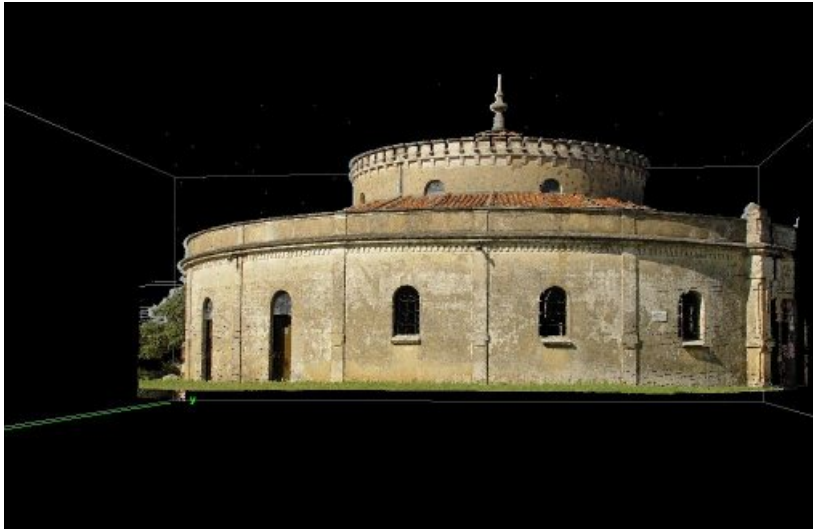
Após o levantamento, os dados tridimensionais são processados para gerar o modelo tridimensional do objeto. Quando as estações encontram-se associadas a um referencial, o modelo gerado está referenciado a este sistema. No caso apresentado aqui, não foi fixado um referencial, motivo pelo qual o resultado encontra-se num referencial local. No entanto, as dimensões do objeto encontram-se na escala 1:1, ou seja, o posicionamento relativo das estações não afeta a medição de distâncias nem a determinação da posição relativa dos pontos medidos.

Finalmente, o último passo é a geração do modelo tridimensional para visualização. Para isto, existem três alternativas. Na primeira, o modelo pode ser visualizado apenas como uma superfície sem textura. A segunda opção é usar os dados da

intensidade do retorno como textura. Esta opção permite uma representação mais realista do objeto, porém a informação espectral proveniente do laser scanner é muito pobre, motivo este que desestimula a utilização deste dado. A melhor alternativa é o uso da imagem fotográfica obtida durante o levantamento. Neste caso, as diferentes fotografias devem ser processadas de forma a diminuir a diferença de iluminação e contraste entre as mesmas. Depois, as imagens podem ser sobrepostas ao modelo tridimensional, criando assim uma visão realista do objeto. As figuras 6 , 7 e 8 mostram o resultado da superposição das texturas derivadas das imagens no modelo tridimensional do teatro do Paiol. Na figura 6, a fachada oeste do teatro pode ser apreciada. Nas figuras 7 e 8 é mostrada a fachada oposta. Na figura 8 pode-se notar uma falha de recobrimento na região inferior do telhado. Essa falha no recobrimento ocorreu devido à impossibilidade de se posicionar o equipamento num local mais elevado, de maneira a imagear a região encoberta. Nesta mesma imagem podemos notar ausência de dados na região superior do telhado causada por uma árvore localizada na frente da área de imageamento. Nas três figuras pode-se visualizar também o efeito da diferença de iluminação . Durante o levantamento, as condições de iluminação variaram e com isto as cores nas fotografias foram diferentes. O problema se agravou em função do horário de aquisição das imagens, em torno das 15-16 horas, quando o sol já se encontra bastante baixo.



**Fig. 5 :** Croqui das estações de aquisição



**Fig. 6 :** Fachada oeste do teatro do Paiol



**Fig. 7 :** Fachada leste do teatro do Paiol



Fig. 8 : Fachada leste do teatro do Paiol

## 5 Conclusão

O artigo descreve o trabalho de coleta de dados tridimensionais e fotografias de um objeto real, um teatro, para a geração de um modelo tridimensional com texturas reais.

Uma das grandes vantagens da varredura a laser em comparação com métodos convencionais de fotogrametria terrestre é o fato da tomada de dados ser mais simples, pois não é exigida a superposição necessária para a geração do estereopar. Os dados lidos pelo varredor laser em uma única tomada já são tridimensionais. A grande vantagem do sistema a laser é o fato de não necessitar pontos homólogos para a geração do modelo tridimensional, somente para amarrar os dados obtidos de diferentes estações de medição. Este fato se torna relevante no caso de construções, como o teatro do paiol, cujas fachadas são curvas e lisas, que dificultam a identificação de pontos e aumentam a quantidade de pontos necessários.

A qualidade geométrica das coordenadas obtidas pela varredura é alta, pois as medições foram feitas a curta distância. O equipamento pode operar em distâncias de até 1000m. No caso de fachadas, este afastamento não é necessário, visto que geralmente os prédios históricos se encontram dentro de cidades, com ruas estreitas. Um afastamento pequeno, porém, se torna uma dificuldade em relação ao total de estações de medição necessárias, pois quando o sensor é posicionado muito próximo do objeto, uma área menor pode ser coberta.

O tempo necessário para coletar os dados usando o varredor laser é maior do que o tempo necessário para tomar fotografias. No entanto, o tempo de processamento dos dados do laser é muito menor do que o tempo de restituição dos pares fotográficos. Quando se deseja gerar um produto referenciado, no entanto, o tempo de coleta de dados passa a ser muito parecido, pois para as fotografias é necessário o levantamento de pontos de controle. Já para o levantamento a laser apenas as coordenadas de uma estação e a posição relativa de uma segunda são necessárias.

Para o levantamento a laser, a frequência de pontos medidos é pré-estabelecida. Isto permite variar a densidade de pontos no objeto, para controlar o volume de dados gerados. Em regiões onde detalhes arquitetônicos valiosos estejam presentes, é possível efetuar uma varredura mais densa.

O resultado obtido pela varredura a laser também é vantajoso, pois ele já se encontra em um sistema ortogonal no qual medições podem ser feitas. No caso apresentado, não foram feitas medições, apenas foi gerado um modelo tridimensional que pode ser exportado a visualizadores diversos, incluindo os disponíveis na internet que reconhecem o padrão VRML.

O levantamento a laser também é vantajoso no sentido de poder operar a noite, diferentemente da fotogrametria que requer iluminação solar. Os prédios históricos no centro de uma cidade geralmente se localizam em ruas estreitas e bem movimentadas, o que torna difícil obter fotografias sem interromper o fluxo normal de pedestres. Como o levantamento a laser opera com uma fonte própria de iluminação, os dados podem ser coletados a noite, quando o fluxo de pessoas é menor. Ainda existe a possibilidade de interromper uma tomada de dados para depois dar continuidade, em caso de um eventual veículo ou pessoa passar na frente.

O levantamento a laser oferece assim grandes vantagens para a documentação de construções do patrimônio histórico e pode ser aplicado também para a documentação de monumentos ou conjuntos de objetos, imprimindo maior dinâmica a este processo de documentação.

## 6 Referências Bibliográficas

**Baltsavias, E.:** Airborne laser scanning: basic relations and formulas, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, No 54/1999, p. 199-214.

**ICOMOS:** *The Venice Charter*. [http://www.icomos.org/venice\\_charter.html](http://www.icomos.org/venice_charter.html), 2003.

**ICOMOS:** *Heritage at Risk 2002-2003*. <http://www.international.icomos.org/risk/2002/intro.htm>, 2003.

**Wehr, A. & Lohr, U.:** Airborne laser scanning-an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, No 54/1999, p. 2-3.