

# CAD project

[www.cadproject.com](http://www.cadproject.com)

## DICAS E TRUQUES

Autodesk Inventor  
ArchiCAD  
AutoCAD Architecture 2008  
AutoCAD avançado  
MicroStation  
Autodesk Revit

LANÇAMENTO  
SolidWorks 2008

## ENGENHARIA

Tekla Structures  
Prototipagem digital

## SIG

Software Open Source - II Parte  
Método de fotogrametria

## ARQUITECTURA

Centro Escolar de Seia  
Inovar ao seu próprio ritmo  
URB Concept\_  
ArqLIFT



# Método de fotogrametria elementar implementado com rotinas em AutoLisp



Luís Miguel Cotrim Mateus,  
Faculdade de Arquitectura da UTL

**P**ara elaborar o levantamento de um edifício várias abordagens podem ser adoptadas. Uma são mais práticas e expeditas e outras mais morosas e rigorosas, devendo sempre considerar-se a adequação dos meios aos objectivos.

O método aqui apresentado e desenvolvido, que em certo sentido se pode definir como um método de fotogrametria elementar, aplica-se sobretudo ao levantamento de edifícios de fachadas aproximadamente planas. Tem como base operativa duas operações base que recorrem às propriedades da geometria projectiva aplicadas a desenhos elaborados, em ambiente de AutoCAD, sobre fotografias digitais.

A primeira operação consiste na rectificação de desenho vectorial produzido sobre fotografia para a produção de levantamento de fachadas, sendo que o que se pretende é um alçado e não uma foto rectificada. Note-se que numa foto rectificada, embora se disponha da informação radiométrica, apenas se podem efectuar medições num plano de fachada, o plano rectificado. Em planos paralelos a esse não é possível, a menos que se altere a escala. Noutros planos, não paralelos ao plano rectificado não é possível efectuar medições. Por outro lado, uma foto rectificada, mesmo que se trate de um fotomosaico, apresenta sempre algumas distorções próprias da perspectiva que, no presente caso, se pretende evitar. Embora se reconheça que uma foto rectificada possa ser útil, por exemplo, para a marcação e registo de patologias que se podem identificar pela textura da fotografia, à semelhança do que é feito na Carta de Risco da Direcção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais, um alçado é sempre necessário para informar um processo de projecto, mesmo que seja complementado por fotografias, rectificadas ou não. Con-

tudo, o alçado produzido pode servir de base métrica para a rectificação fotográfica. Isto é válido para um edifício isolado e para um conjunto de edifícios de uma rua, por exemplo.

A primeira operação, a rectificação, baseia-se no teorema da geometria projectiva segundo o qual "quaisquer quatro pontos num plano  $\pi$ , não sendo três colineares, são projectivos com quaisquer quatro pontos num plano  $\pi'$ , não sendo três colineares". Este teorema não exclui que os dois planos coincidam e traduz que dada uma figura inicial num plano  $\pi$  e quatro pontos num plano  $\pi'$  que correspondam a quatro pontos conhecidos da figura inicial, é possível estabelecer os parâmetros que permitem efectuar a transformação da figura inicial, do plano  $\pi$ , na figura final, no plano  $\pi'$  (mesmo que os dois planos sejam apenas um).

Na prática, na generalidade dos casos, as coordenadas dos pontos do plano  $\pi'$  resultam da medição *in-situ* de uma largura e uma altura na fachada do edifício, o que permite desenhar um rectângulo de referência (embora seja importante constatar que os quatro pontos podem definir qualquer figura). O pontos homólogos dos vértices do rectângulo de referência, ou seja, os pontos do plano  $\pi$ , são pontos que se identificam sobre a fotografia.

Parte da originalidade deste processo de rectificação está no modo como procedeu para definir a transformação projectiva.

A transformação projectiva pode ser traduzida analiticamente por:

$$X_u = \frac{e_1 x_n + f_1 y_n + g_1}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1}$$

$$Y_u = \frac{e_2 x_n + f_2 y_n + g_2}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1}$$

Em que:

$X_u$  e  $Y_u$  são as coordenadas do ponto  $P_u$  a determinar,  $x_n$  e  $y_n$  são as coordenadas do ponto  $P_n$  conhecido e correspondente ao ponto  $P_u$ ,  $e_0, e_1, e_2, f_0, f_1, f_2, g_1, g_2$  são os oito parâmetros da transformação projectiva.

Deduz-se das expressões que, tal como já foi afirmado, para determinar os parâmetros da transformação são necessárias as coordenadas de quatro pontos de referência,  $P_i$ , no plano do desenho a obter, e de quatro pontos de referência,  $P'_i$ , no plano do desenho elaborado, correspondentes aos anteriores.

É de notar que a determinação dos oito parâmetros da transformação, tratada na sua generalidade, é pouco prática pois consiste em resolver um sistema não linear de oito equações a oito incógnitas, pelo que se adoptou uma estratégia que tornou mais expedita a operação. Se três das coordenadas dos pontos de referência  $P_i$  e três das coordenadas dos pontos de referência  $P'_i$  forem iguais a  $0$ , então a resolução do sistema torna-se bastante simples. Como, em geral, esta condição não se cumpre à partida, considerou-se um conjunto de transformações geométricas (translações e rotações) que alteram as coordenadas dos pontos iniciais de modo a simplificar a determinação dos parâmetros da transformação projectiva.

Após este conjunto de transformações geométricas determinam-se os parâmetros da transformação projectiva que vêm de acordo com as seguintes expressões:

$$g'_1 = X_{1tr}$$

$$g'_2 = Y_{1tr}$$

$$f'_2 = \frac{Y_{1tr} \cdot x_{4tr} - Y_{1tr} \cdot x_{3tr}}{x_{3tr} \cdot y_{4tr} - y_{3tr} \cdot x_{4tr}}$$

$$e'_2 = \frac{Y_{1tr} \cdot y_{3tr} - Y_{1tr} \cdot y_{4tr}}{x_{3tr} \cdot y_{4tr} - y_{3tr} \cdot x_{4tr}}$$

$$e'_1 = \frac{e'_2 \cdot X_{2tr}}{Y_{2tr}} + \frac{X_{2tr} \cdot (Y_{1tr} - Y_{2tr})}{x_{2tr} \cdot Y_{2tr}} - \frac{X_{1tr} - X_{2tr}}{x_{2tr}}$$

$$f'_1 = -\frac{e'_1 \cdot x_{4tr} + X_{1tr}}{y_{4tr}}$$

$$e'_0 = \frac{e'_2}{Y_{2tr}} + \frac{Y_{1tr} - Y_{2tr}}{x_{2tr} \cdot Y_{2tr}}$$

$$f'_0 = \frac{e'_1 \cdot x_{3tr} + f'_1 \cdot y_{3tr} + X_{1tr} - e'_0 \cdot x_{3tr} \cdot X_{3tr} - X_{3tr}}{y_{3tr} \cdot X_{3tr}}$$

Após a aplicação da transformação projectiva considera-se outro conjunto de transformações geométricas (rotações e translacções) que trazem os pontos transformados à posição que se pretende.

A segunda operação consiste em elaborar, com o mínimo possível de trabalho de campo, o levantamento da planta do contorno de um edifício mais ou menos isolado através da determinação dos ângulos entre os planos das várias fachadas. Efectivamente, esta segunda operação do método não é aplicável no caso do edifício a registar apenas apresentar uma fachada, isto é, se o edifício estiver confinado entre edifícios, por exemplo numa rua.

Sendo aplicável a operação, pretende-se obter um polígono que delimita o edifício e que pode enquadrar um posterior levantamento, mais ou menos detalhado, através de métodos clássicos directos, do interior do edifício. Deste modo pretende-se eliminar a necessidade de marcação de uma poligonal exterior ao edifício para apoiar um processo de triangulação.

Este processo pode ser válido para muitos fins de representação de objectos arquitectónicos. Para esta operação as fotos devem ser tiradas com o eixo da objectiva aproximadamente horizontal.

Não se pretende defender a eficácia deste método relativamente a qualquer outro. Pretende-se apontar que pode funcionar em complemento de outros métodos. Trata-se seguramente de um método que apresenta vantagens e inconvenientes.

Para tornar operativo o método programaram-se duas rotinas em autolisp, designadas **rectificador** e **planta**, que foram integradas num *plug-in* para o software AutoCAD.

Com base nas geometrias inerentes às duas operações indicadas foram programadas duas rotinas em Autolisp que foram integradas num *plug-in* para o software AutoCAD. Este, corresponde à adição de um menu no *layout* do AutoCAD e de uma barra de ferramentas que agregam as funções definidas nas rotinas, ambos com a designação Ferr\_Lev (Ferramentas de levantamento). Através do menu permite-se carregar as aplicações.



Figura 1

A execução das rotinas pode ser invocada através dos ícones ou através do menu.

A ordem pela qual aparecem os ícones corresponde à ordem pela qual aparecem as descrições das operações no menu.

As funções correspondentes aos ícones, da esquerda para a direita, são as seguintes:

- a) Pede a selecção de quatro pontos de referência no plano da imagem, quatro pontos homólogos no plano do desenho a obter, e os elementos a rectificar.
- b) Pede a selecção dos pontos homólogos através de pares, e os elementos a rectificar.
- c) Pede a selecção de quatro rectas de referência no plano da imagem, quatro rectas homólogas no plano do desenho a obter, e os elementos a rectificar.
- d) Pede a selecção das rectas homólogas através de pares, e os elementos a rectificar.
- e) Pede os elementos a rectificar quando os elementos de referência homólogos já foram definidos em operações anteriores.
- f) Pede a selecção de elementos para a execução da rotina de determinação do ângulo entre fachadas.

Aplicou-se o método descrito ao levantamento da fachada e perímetro de uma igreja do séc. XVI situada no Concelho de Loures.

Utilizaram-se 9 fotos para o levantamento da fachada principal o que permitiu obter o resultado ilustrado na figura 2.

Comparando medições efectuadas sobre o alçado desenhado com medições efectuadas *in-situ* as diferenças máximas encontradas variam entre ± 3cm o que se pode considerar adequado para muitas aplicações de arquitectura.

Para a definição da planta do con-





Figura 2

torno do edifício foram utilizadas 10 fotos que, tal como já foi referido, foram tiradas com o eixo da objectiva na horizontal. Para o efeito utilizou-se um tripé.

A figura 3 ilustra o processo.

Trata-se de uma operação que é realizada para cada par de fachadas.

Sobre as fotos a altura de referência pode ser propagada através de traçados de simples construção atendendo ao carácter perspéctico da imagem.

Os vários ângulos obtidos e respectivas posições relativas entre planos de fachadas obtidos em planta devem agora ser integrados num único desenho como mostra a figura 4.

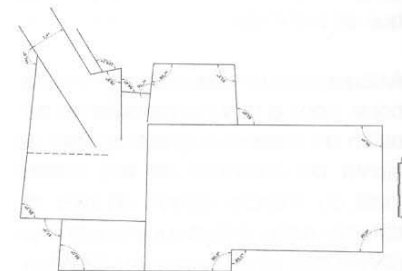


Figura 4

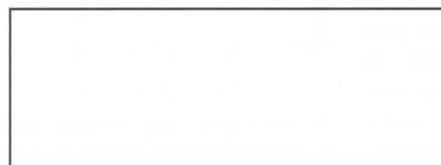
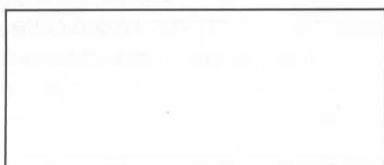
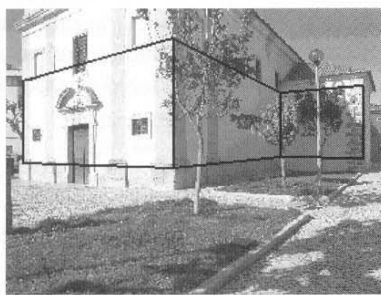


Figura 3