

# APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA E DA FOTOINTERPRETAÇÃO EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Ao preparar este trabalho, não nos moveu, em absoluto, a pretensão de abordar assunto inédito ou de criar uma metodologia nova para solucionar problema antigo.

Nossa intenção é, simplesmente, tentar eliminar dúvidas e controvérsias quanto à aplicabilidade do método aerofotogramétrico na preparação da base cartográfica indispensável ao projetamento de obras de irrigação.

Antes de penetrar no âmago do assunto que nos propomos, ao final deste trabalho, a tornar inquestionável, cabe recordar alguns aspectos da sistemática adotada nos projetos de irrigação, muito embora não seja esta a nossa especialidade.

A maioria dos presentes não desconhece que ao se planejar uma obra de irrigação, um levantamento preliminar das condições climáticas e das características agropedológicas da área a irrigar, assim como da situação de fato e de direito das propriedades nela contidas, se faz indispensável ao estabelecimento dos parâme-

*Eng.º*

*Placidino Machado Fagundes*

tros em que se fundamenta o projeto.

O que, entretanto, muitas vezes se omite é o fato de que após o parcelamento da área para distribuição aos parceleiros, esta, certamente, sujeitar-se-á a movimentos de terra para proporcionar a cada parcela, condições ideais de declividade, tendo em vista a otimização do aproveitamento das águas de irrigação e a minimização do carreamento de solo. Isto acontecendo, um projeto elaborado com base nas feições naturais do terreno jamais se ajustará à sua conformação após as "plásticas" a que tenha sido submetido, exigindo "ajeitamentos" sempre onerosos e nem sempre totalmente eficazes.

Omitindo ou não este aspecto importantíssimo do problema, o que não se pode ne-

gar é a necessidade incontestável de uma base cartográfica para lançamento do projeto e da quantificação do relevo, quer para fins de perfilometria da rede de irrigação, como para o dimensionamento e o cálculo da declividade das parcelas ou de conjuntos de parcelas.

É claro que para essa quantificação do modelado do terreno poder-se-ia recorrer a uma solução mais sofisticada, a base de um "modelo digital do terreno" elaborado em computador.

Entretanto, para o projeto, no plano horizontal, do sistema de irrigação, o projetista ainda prefere a visualização da área interessada, pelo recurso à cartografia, para o seu traçado gráfico em planta. Por conseguinte, já que a planta topográfica é requerida pelo projetista, nada mais lógico e prático do que enriquecê-la com uma quantidade de informações altimétricas, a base de curvas de nível e pontos cotados, que permita não apenas visualizar o relevo do solo, mas também dessas informações extrair as cotas dos cantos das parcelas e a sua cota média, para fins de cálculo da inclinação que deverá ser imposta ao seu pla-

no médio mediante ulterior movimento de terras.

Numa fase subsequente ao conhecimento das condições climáticas e pedológicas da área a irrigar e jurídicas das propriedades nela contidas, o procedimento clássico recomendava, aqui, uma investigação de campo quanto ao parcelamento que mais se ajustasse à morfologia do terreno a irrigar, operação que exige uma quantidade apreciável de nivelamento geométrico, dada a dificuldade de estimar, em terrenos relativamente planos, as suas variações de nível a olho nú.

Nesta fase, a Fotogrametria e a Fotointerpretação já poderiam proporcionar substancial economia de tempo e de custo mediante a observação estereoscópica de estereofotogramas, de preferência retificados, para avaliação da micromorfologia da área a irrigar, concomitantemente com a análise dos solos e a discriminação das partes irrigáveis e não irrigáveis, estas dispensando a preparação de plantas em escalas grandes e de alta precisão.

O emprego de estereoscópios equipados com estereomicrômetros, além de proporcionar uma visão ampla de extensas porções da área a irrigar e um exagero do seu relevo por ser esta uma característica do estereoscópio, ainda permitiria a sua quantificação bastante aproximada para fins de delineamento das parcelas e cálculo de sua ideal declividade.

Obviamente, a observação e medição de pares de fotografias isentos de erros decorrentes de inclinações da câmara e variações de altura de voo, mediante uma transformação (ou retificação) fotográfica, seria a técnica mais recomendável para garantir a precisão horizontal das medições efetuadas com o estereomicrômetro.

O recurso à Fotogrametria e à Fotointerpretação, nesta fase, restringiria o trabalho de campo ao mínimo necessário ao apoio da retificação das fotografias, apoio este que seria ainda utilizado na fase seguin-

te, se também aplicado o método aerofotogramétrico na elaboração da base cartográfica para o projeto. Além disso, em condições econômicas, muito mais favoráveis, poderia ser, como de todo desejável, antecipado o parcelamento da área a irrigar, assim como calculadas as declividades futuras das parcelas delineadas e anteprojeadas as vias de acesso e de escoamento da produção agrícola almejada.

A mais significativa das contribuições da Fotogrametria ao projetamento de obras de irrigação configura-se na elaboração e preparação da planta topográfica em escala e precisão compatíveis com os requisitos do projeto e de sua implantação no terreno.

Neste ponto, permitiríamos recordar que a Aerofotogrametria fundamenta-se em procedimento indireto de aquisição de dados e, por isso mesmo, impõe ao engenheiro cartógrafo o conhecimento da destinação do elemento cartográfico por esse método produzido, quando se trata de plantas para projetos de engenharia.

O mesmo nem sempre se exige de quem recorre aos métodos clássicos da Topografia, uma vez que, sendo os dados colhidos, neste caso, diretamente na escala natural de 1:1, muito freqüentemente, esses dados podem ser utilizados na preparação de plantas em distintas escalas e para diferentes fins. A precisão com que são colhidos esses dados situa-se na faixa compreendida entre o milímetro e o metro.

Quando, porém, se recorre à Fotogrametria, em particular à Aerofotogrametria, visando economia de tempo e de custo, sem prejuízo da qualidade e da precisão, os dados para compor a carta são colhidos indiretamente, pois são extraídos de fotogramas ou de estereofotogramas sempre em escalas menores que 1:1. A precisão com que estes dados são extraídos de imagens ou de modelos óticos, reduzidos, do terreno e cartografar, situa-se na faixa compreendida entre o milíme-

tro e o micron, mas os dados assim obtidos sujeitam-se à multiplicação pelo denominador da escala da fotografia e desta operação poderá resultar uma deterioração da precisão que os relegará a incompatibilidade com o rigor imposto a um projeto pela finalidade a que se destina.

É necessário que o encomendador de cartas a serem executadas pelo método aerofotogramétrico seja alertado para este aspecto crucial, sob pena de resultar o método rotulado de inaplicável a este ou àquele projeto de engenharia.

No Brasil, como nas Américas, as tolerâncias admitidas em cartas aerofotogramétricas, desde a Quarta Reunião de Consultas do I.P.G.H., realizada em Caracas, são por todos nós conhecidas, sendo, em planimetria, tolerada uma discrepância de 0,5 mm em 90% dos pontos de uma planta verificados no terreno; e, em altimetria, uma discrepância de meio intervalo em 90% dos pontos de curvas de nível ou entre elas interpolados e verificados no terreno.

O rigor dos projetos de irrigação certamente não toleraria as discrepâncias altimétricas admitidas para as curvas de nível em mapeamentos aerofotogramétricos regulares. Por isso mesmo é que ao cartógrafo tem de ser informada a destinação da carta para que ele a elabore com uma rica complementação altimétrica, à base de pontos cotados, cuja precisão supera de muito a das curvas de nível e se exprime, em geral, com uma percentagem da altura de voo.

A escolha da escala e do espaçamento vertical das curvas de nível, perdoem-nos os projetistas mas, não podem ser fixados a seu critério, sem um franco entendimento com o cartógrafo.

A precisão com que são extraídos de um modelo ótico estereoscópico os dados para compor a carta resulta, sempre, condicionada à escala da fotografia, uma vez que a precisão a esperar de um aparelho res-

tituidor estereofotogramétrico é fornecida, pelo seu fabricante, na escala da fotografia. Considerando que a escala de um fotograma varia na razão inversa da altura de vôo, a precisão altimétrica é mais comumente indicada sob a forma de percentagem da altura de vôo.

Infere-se, por conseguinte, que, indicada pelo projetista a discrepância máxima tolerada entre um dado extraído da carta e a sua determinação no terreno, cabe ao engenheiro cartógrafo ou fotogrametrista escolher a altura de vôo, a escala dos fotogramas em função da distância focal da câmera a empregar, o material fotográfico a utilizar, a densidade e distribuição do apoio terrestre, o aparelho restituidor, o material das estereominutas, o operador, o material das folhas finais de carta e até o desenhista cartógrafo.

Há uma relação considerada ideal entre a escala de uma carta e o intervalo das curvas de nível, devendo esse intervalo ser igual a um milésimo do denominador da escala.

No caso particular das cartas aerofotogramétricas essa recomendação coaduna-se com as relações existentes entre precisões, escalas, alturas de vôo, etc., tendo em vista uma certa consistência entre as tolerâncias planimétricas e altimétricas.

Em se tratando de terreno razoavelmente plano, um espaçamento correspondente a dois milésimos do denominador da escala pode ser admitido.

A base cartográfica ideal para projetos de irrigação seria uma planta topográfica na escala de 1:1.000, com curvas de nível espaçadas, verticalmente, de 0,5 m. Elaborada pelo método aerofotogramétrico, uma carta nessas condições admitiria uma tolerância planimétrica de 50 cm e altimétrica de 25 cm. Uma tal precisão altimétrica embora bastante elevada, ainda seria inferior à requerida para projetos de irrigação, pois, para satisfazer os projetistas, seria desejável que 80% dos

## **APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DA FOTO- INTERPRETAÇÃO EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO**

pontos testados não apresentassem discrepâncias superiores a  $\pm 8$  cm e 95% se comportassem dentro da faixa de discrepâncias de  $\pm 15$  cm. Para atingir essa precisão, necessário se faz a complementação das curvas de nível por pontos cotados, estereofotogrametricamente, já que, esses pontos, observados com a marca estereoscópica parada, poderão ser determinados com uma precisão duas ou três vezes maior que a das curvas de nível. Uma densidade de 25 pontos por hectare, distribuídos uniformemente, além daqueles correspondentes a interseções de estradas, picos de morros, fundos de vale, etc.

A precisão dos aparelhos restituidores de 1.<sup>a</sup> ordem, é indicada pelos seus fabricantes como sendo de 0.04 a 0.06 por mil da altura de vôo. Em termos práticos, entretanto, não arriscaríamos raciocinar com uma precisão melhor que 0,10 por mil da altura de vôo. Mesmo assim, para garantir um erro médio quadrático de  $\pm 15$  cm, nossa experiência recomendaria tomar os fotogramas de uma altura de 750 m sobre o nível médio do terreno, caso em que, se tomadas com câmaras aerofotogramétricas de 15 cm de distância focal, a cobertura fotográfica resultaria na escala média de 1:5.000, escala esta perfeitamente compatível com o mapeamento em 1:1.000, se empregados, na restituição, aparelhos restituidores de 1.<sup>a</sup> ordem. A recomendação procede porque conduziria à certeza matemática de que, não apenas 68,6%, mas 95% dos erros cometidos na medida dos pontos cotados estariam contidos no intervalo de  $\pm 15$  cm.

A tolerância admitida para a posição da curva de nível, no plano horizontal, não chega a comprometer a sua precisão vertical por se tratar, sempre, em projetos de irrigação, de terrenos relativamente planos em que, um deslocamento planimétrico de 50 cm raramente acarretaria erro altimétrico superior à tolerância admitida pelo projetista. Aliás, exatamente,

pelo fato de serem as áreas irrigáveis, quase sempre, eminentemente planas, é comum, por medida de economia, abusar-se da tolerância horizontal e admitir-se a elaboração da base cartográfica para projetos de irrigação, na escala de 1:2.000, mantendo, entretanto, o espaçamento vertical das curvas de nível, em 50 cm, esperando que deslocamentos planimétricos de 1 m, nessas curvas, ainda não comprometam a sua precisão vertical.

A escala da cobertura aerofotográfica, entretanto, não é a única variável a considerar para atingir a precisão almejada. Tão importante para a preparação da carta, e muito mais no que concerne às contribuições do levantamento e do mapeamento à implantação do projeto no terreno, é a densidade, a distribuição e a precisão com que o apoio terrestre deve ser planejado e executado.

A experiência em diversos projetos elaborados, no Brasil, sobre plantas topográficas executadas pelo método aerofotogramétrico e implantados, sem qualquer contratempo de ordem técnica relacionado com divergências entre a cartografia e o terreno, mostrou ser fundamental uma densidade mínima de Referências de Nível capaz de garantir que qualquer ponto da área levantada não diste mais que 250 m de uma RN cuja cota tenha sido determinada por nivelamento geométrico, em linhas partindo de RN de 1.<sup>a</sup> ordem e fechando, se possível, em outra, de forma a não ultrapassar a tolerância de 8 mm VK, admitida para nivelamentos geométricos de 2.<sup>a</sup> ordem.

Uma rede de triangulação ou poligonação eletrônica, também, no mínimo, de 2.<sup>a</sup> ordem, deverá constituir o apoio básico horizontal, a partir do qual sejam determinados os pontos do apoio suplementar horizontal, com uma densidade de, no mínimo, quatro pontos por par estereoscópico, escolhidos o mais próximo possível dos pontos de Gruber em cada modelo. Assim fazendo, pode-se esperar

uma precisão planimétrica de 0,3 mm em 90% dos pontos testados no terreno, melhor, portanto, que a preconizada pela convenção de Caracas e corroborando para justificar a adoção da escala de 1:2.000, sem comprometer a precisão altimétrica das curvas de 50 cm.

Resumindo, para tornar inteligível a metodologia aqui abordada, diríamos que o emprego da Fotogrametria e da Fotointerpretação em projetos de irrigação, assim se configuraria:

— Numa 1.<sup>a</sup> fase que chamaríamos de estudos preliminares e anteprojeto, uma cobertura aerofotográfica geral da área em cogitação poderia justificar-se numa escala variando de 1:10.000 a 1:15.000, visando, por fotointerpretação, não só a seleção das subáreas irrigáveis, como o seu parcelamento de acordo com a natureza dos solos, a situação das propriedades, as condições climáticas, etc. No Brasil, entretanto, a experiência tem mostrado que o risco de aguardar, por longo tempo, que uma nova oportunidade se apresente de realizar, em condições atmosféricas ideais, uma segunda cobertura em 1:5.000 somete das subáreas irrigáveis, pode comprometer toda a economia pretendida, parecendo mais prudente cobrir, de uma vez, toda a área a estudar com os fotogramas que serão utilizados na operação de restituição de que resultarão as cartas em 1:1.000 ou 1:2.000.

Assim agindo, haverá ainda a possibilidade de utilizar o mesmo apoio à restituição, para retificar os fotogramas, eliminando os erros decorrentes de variações de altura de voo e inclinações da câmara, de molde a permitir a quantificação preliminar do relevo do terreno com emprego de um simples estereoscópio equipado com estereomicrômetro

para estabelecimento das dimensões e da declividade que deverão vir a ter as parcelas.

Na fase de projeto, propriamente dito, a base cartográfica ideal seria uma planta em 1:1.000 com curvas de nível, no mínimo de meio em meio metro, podendo-se, entretanto, aceitar a escala de 1:2.000, desde que o intervalo de meio metro seja mantido para as curvas de nível e que numerosos pontos cotados, estereofotogrametricamente, venham complementar as informações que as curvas de nível pretendem oferecer do modelado do terreno; isto, sem contar as referências de nível que, sempre que possível, deverão ter suas posições planimétricas definidas por coordenadas horizontais, de forma a permitir que sejam também registradas nas cartas, com segurança.

Uma redução das plantas em 1:2.000 para a escala de 1:5.000, proporcionaria uma visão de conjunto, de todo o sistema projetado, muito agradável para o projetista. Jamais, no entanto, aconselharíamos a execução do projeto nessa escala, ainda que o intervalo das curvas fosse mantido em meio metro, porquanto a tolerância planimétrica de 2,5 m admitida, também, para as curvas de nível, poderia deslocá-las para posições inteiramente discrepantes do terreno que pretendiam representar.

Concluimos nossa exposição, afirmando que o método aerofotogramétrico é aplicável na preparação da base cartográfica para projetos de irrigação, sendo necessário, apenas, um perfeito entrosamento do projetista com o fotogrametrista, para resultarem compatibilizadas as precisões dos elementos cartográficos com o rigor de que não pode prescindir um projeto desta natureza.