

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE DECLIVIDADES EM AEROFOTOS VERTICAIS COM MÉTODO DE CAMPO

Slope measurement methods from vertical aerial photos by comparison with a field method

Carlos Marx Ribeiro Carneiro

Anilda Back da Silva

Argentino J. Aguirre

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estabelecer comparações entre tres métodos de determinação de declives em aerofotos verticais com um método de campo de alta precisão, para dentre os tres anteriormente mencionados, escolher aquele que melhor se prestasse.

Os métodos de laboratório foram: Estéreo Comparador de Declives, de solução mecânica; método de Stellingwerf e método de ITC — Zorn (ambos de solução gráfica).

O método de campo foi o do nível de luneta.

Os dois métodos gráficos mostraram ser mais precisos que o de solução mecânica ao nível de 5%. Entre os métodos gráficos não houve diferença significante.

SUMMARY

Establishing a key of comparisons among 3 methods of slope measurements from vertical aerial photos with a highly precise field method was the main goal of this work.

The laboratory methods used were: A mechanical solution method (Stereo Slope Comparator) and two graphical solution methods Stellingwerf and ITC — Zorn.

The field method used was the Automatic Spectacle Lens Level.

The two graphical methods, showed to be the most precise considering a 5 per cent significance level.

There were not a significant difference between the two graphical methods.

INTRODUÇÃO

A declividade do terreno é um parametro de alto interesse para uma série de trabalhos como, projetos de reflorestamento, usos da terra, manejo de bacias hidrográficas, levantamentos conservacionistas, etc. Sendo a fotografia aérea um dos principais instrumentos para planejamentos rápidos, econômicos e precisos, é por conseguinte de grande importância uma rápida e precisa determinação dessa declividade, através de um método rápido e eficaz.

O que propomos neste trabalho é determinar o método mais prático, preciso e rápido dentre tres deles, comparando os resultados com outros obtidos por um método de campo altamente preciso.

Os métodos são: Um de solução mecânica — Estéreo Comparador de Declives — dois de soluções gráficas — O método de Stellingwerf e o ITC — Zorn e um método de campo para comparação — Nível Automático de luneta.

Com respeito ao estéreo comparador, RAY (2) afirma que devido a maior dificuldade de se colocar o alvo inclinado em um plano de mergulho forte, o instrumento é usado com maior segurança onde os mergulhos verdadeiros não excedam a 20.º.

Já MEKEL et alii (1) acham que devido especialmente ao exagero vertical do estéreo-modéio, estes ângulos de declividade estimados, podem ser 2 ou 3 vezes maiores do que realmente são no terreno e, a fim de reduzir esses valores reais, é necessário conhecer o exagero vertical presente no estéreo-modéio. Especialmente nos terrenos de baixa declividade, pode-se obter bons resultados visto que erros de somente alguns graus na estimativa das declividades aparentes são de menor importância para as declividades verdadeiras de valores até 25.º ou 30.º.

Quanto ao método da plantilha ITC — Zorn, MEKEL et alii (1) recomendaram o uso da escala de "u" (medindo-se sobre esta com uma régua a distância entre o ponto principal e a escala "t" utilizada em milímetros), para valores de declividade do terreno maiores que 28.º.

MATERIAL E MÉTODOS

Para os trabalhos de laboratório foram empregadas aerofotos pancromáticas na escala aproximada de 1:25000, tiradas com uma câmara de distância focal igual a 152,98 mm., além de um estéreo comparador de declives, aparelho que estima a declividade com solução mecânica; uma plantilha ITC — Zorn para determinar a declividade bem como de um outro método, o de Stellingwerf (os dois últimos de solução gráfica).

Para as medições de campo utilizamos um nível automático de luneta n.º 2 da Zeiss de alta precisão.

A área selecionada para as medições foi a bacia de captação do açude da UFSM (136,44ha), situada no campus da Universidade.

Como o trabalho visava apenas comparar métodos, selecionamos tres encostas nas fotografias onde efetuamos as medições de laboratório e campo respectivamente. Para os métodos gráficos, efetuamos quatro leituras em cada uma dessas encostas.

Para os cálculos utilizamos as seguintes fórmulas:

1 — Estéreo Comparador de Declives

$$\text{Tg}\alpha = \frac{1}{\text{Ev}} \cdot \text{tg}\alpha'$$

Utilizada para transformar a declividade aparente do estéreo-modéio, α' (lida no instrumento), em declividade real, α .

Ev, é o exagero vertical do modéio estereoscópico. Pode ser determinado por várias fórmulas, porém, utilizamos a fórmula seguinte calculada pelo Professor José Bittencourt de Andrade.

$$\text{Ev} = \frac{f' (b^2 + f^2)}{f^3}$$

Onde:

- Ev** = Exagero Vertical
b = Base estereoscópica
f = Distância focal da câmara (mm.)
f' = Distância focal do estereoscópio utilizado

Para o caso em foco, os valores utilizados foram:

$$b = 92\text{mm.}; f = 153\text{mm.}; f' = 340\text{mm. Ev. calculado} = 3,025$$

2 — Método de Stellingwerf

$$\alpha = \text{arc. tg.} \frac{f}{d} \frac{Px}{Pr + Px}$$

Utilizada para o cálculo do declive onde:

- α** = Declive real do terreno
f = Distância focal da câmara empregada
Pr = Paralaxe estereoscópica
Px = Diferença de paralaxes
d = Distância horizontal entre 2 pontos de cada encosta

3 — Método ITC — Zorn.

$$\alpha = \text{arc. cotg.} (tr - ta) \frac{Pr}{Px} + tr$$

Onde:

- α** = Declividade do terreno
Pr = Paralaxe estereoscópica
Px = Diferença de paralaxe
tr, ta = Valores calculados através da plantilha ITC — Zorn

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da aplicação das fórmulas anteriormente citadas, estabelecemos o quadro 1.

Quadro 1 - Resultados gerais dos cálculos efetuados com os quatro métodos

Encostas.	Stellingwerf				ITC - Zorn				Nível	Est. Comp. Decl.
	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#		
1	02#53	2#34'	2#34'	2#53'	2#58'	2#39'	2#39'	2#58'	2#56'	3#40'
2	1#17'	1#17'	1#02'	1#17'	1#20'	1#04'	1#20'	1#20'	3#16'	3#58'
3	3#38'	3#12'	3#25'	3#25'	3#32'	3#07'	3#20'	3#20'	3#20'	2#59'

Cálculo para a encosta n.º 1.

MÉTODO DE STELLINGWERF

Quadro 2 — Valores em frações de grau utilizados para a análise estatística do método de Stellingwerf

X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
2,8833	0,1584	0,0251
2,5566	- 0,1583	0,0251
2,5566	- 0,1583	0,0251
2,8833	0,1584	0,0251
\sum 10,8998		\sum 0,1004

Cálculo da média

$$\bar{X}_s = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{10,8998}{4} = 2,7249$$

Cálculo do desvio padrão

$$S_s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,1004}{3}} = 0,1830$$

Cálculo do desvio padrão da média

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_s}{\sqrt{n}} = \frac{0,1830}{2} = 0,092$$

Comparação com o valor do nível (2,9333)

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X} - u}{S_{\bar{x}}} = \frac{2,7229 - 2,933}{0,092} = - 2,2652$$

t tabela = 3,182 > 2,2652 calculado

Não há diferença significativa.

Comparação com o valor do estêreo comparador (3,6667)

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X} - u}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{2,7249 - 3,6667}{0,092} = -10,236$$

t tabela = 3,182 < 10,236 calculado

A diferença é significativa

Método do ITC — Zorn

Quadro 3 — Valores em frações de grau utilizados para a análise estatística do método de ITC — Zorn

X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
2,9667	0,1584	0,0251
2,6500	- 0,1584	0,0251
2,6500	- 0,1584	0,0251
2,9667	0,1584	0,0251

$\sum 11,2334$

$\sum 0,1004$

Cálculo da média

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{11,2334}{4} = 2,8083$$

Cálculo do desvio padrão

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,1004}{3}} = 0,1830$$

Cálculo do desvio padrão da média

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,1830}{2} = 0,092$$

Comparação com o valor do nível (2,9333)

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X}_z - u}{S_{\bar{X}_z}} = \frac{2,8083 - 2,9333}{0,092} = 1,339$$

t tabela = 3,182 > 1,359 calculado

A diferença é significativa

Comparação com o valor do estêreo comparador (3,8667)

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X} - u}{S_{\bar{X}}} = \frac{2,8083 - 3,8667}{0,092} = 9,330$$

t tabela = 3,182 < 9,330 calculado

A diferença é significativa

Comparação com as médias dos métodos de Stellingwerf e ITC-Zorn

Cálculo do erro da diferença das duas médias

$$S_{\bar{X}_s - \bar{X}_z} = \sqrt{S_{\bar{X}_s}^2 + S_{\bar{X}_z}^2} = \sqrt{0,092 + 0,092} = 0,1301$$

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X}_s - \bar{X}_z}{S_{\bar{X}_s - \bar{X}_z}} = \frac{2,7249 - 2,8083}{0,1301} = 0,641$$

t tabela = 2,447 > 0,641 calculado

A diferença não é significativa

O quadro seguinte nos mostra os resultados dos cálculos efetuados para todas as encostas.

Quadro 4 — Resultados gerais obtidos pelos quatros métodos (análise)

Encostas	Comparação entre o método de Stellingwerf e:			Comparação entre o método ITC Zorn e:	
	Nível	Estéreo Compara.	ITC Zorn	Nível	Estéreo
1	Dif. não Signif.	Dif. Signif.	Dif. não Signif.	Dif. não Signif.	Dif. Signif.
2	Dif. Signif.	Dif. Signif.	Dif. não Signif.	Dif. Signif.	Dif. Signif.
3	Dif. não Signif.	Dif. Signif.	Dif. não Signif.	Dif. não Signif.	Dif. Signif.

Para testar os resultados utilizamos o teste de "t" (Student) com um nível de significância de 5%.

Consideramos o nível de 5% visto que consideramos 95% um nível de precisão mais que aceitável para trabalhos que envolvam determinações e estimações de declividades por esses métodos (estudos preliminares, ante-projetos, etc.)

Sob o ponto de vista estatístico, temos dois sistemas de comparação: Comparar as médias dos métodos de Stellingwerf e ITC-Zorn entre si e posteriormente, comparar essas duas médias com os valores de declives calculados pelo nível e o estéreo-comparador.

Para facilitar os cálculos, transformamos os minutos em frações de grau em todos os casos.

Vale observar que todos os cálculos estatísticos foram feitos para cada encosta porém, como são semelhantes, apresentamos apenas a sistemática estatística e os resultados para a primeira encosta e, posteriormente, os resultados das demais encostas.

CONCLUSÕES

Observamos pelos resultados apresentados no quadro 2, que as diferenças entre o método de Stellingwerf e o método ITC-Zorn não são significantes. Para as encostas 1 e 3 esses dois métodos se comportaram de forma semelhante, não tendo as médias apresentado diferença significativa com o valor obtido com o nível, coisa que não acontece com a encosta 2 onde as diferenças são significativas ao

nível de 5%. É provável e possível que ao nível de 1% os resultados da encosta 2 venham a se comportar como os obtidos para as encostas 1 e 3 porém, ao nível de 5% já atingimos o que desejávamos.

Com relação ao estéreo comparador de declives, em todos os casos houve diferenças significantes.

Sugerimos pois, o uso de um desses dois métodos para esse tipo de trabalho; a escolha de um ou outro é subjetiva portanto, vai depender das possibilidades e treinamento de cada técnico.

Em termos práticos o uso do estéreo — comparador, tem as suas vantagens porém, a probabilidade de maiores erros é sem dúvidas maior e o técnico tem que estar muito treinado sob pena de cometer sérios erros.

Não esqueçamos de mencionar também a escala das fotografias (aproximadamente 1:25000), como fator importante para o sucesso das determinações.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — MEKEL, J. F. et alii. *Slope measurements and estimates from aerial photographs*. 3.^a ed. Delft, ITC. 1970. 32p.
- 2 — RAY, R. G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamentos geológicos*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. 1963. 88p.
- 3 — RICCI, M. & PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. 2.^a ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional. 1965. 226p.