

Estudo Comparativo Dos Métodos Topográficos
De Determinação Das Diferenças De Nível

G. DE MELLO NETTO, A. PETTA e I. R. NOGUEIRA

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
U.S.P. — Piracicaba

INTRODUÇÃO

Em Topografia são empregados, correntemente, dois instrumentos para a determinação de distâncias verticais ou diferenças de nível: o teodolito e o nível de precisão. Quando se emprega um teodolito provido de arco Beaman, o cálculo da distância vertical pode ser feito valendo-se do ângulo de inclinação da visada em relação à horizontal ou, diretamente, utilizando-se a leitura feita nesse arco. De maneira que dispomos, por assim dizer, de três métodos para a obtenção das diferenças de nível. É ponto pacífico que destes três métodos o que oferece melhores resultados é o que emprega o nível de precisão, seguindo-se-lhe o teodolito com emprêgo do ângulo de inclinação, e vindo em último lugar o que se vale da leitura do arco Beaman. Porém, devido à maior simplicidade e rapidez na execução das operações que empregam o teodolito, é este frequentemente usado em lugar do nível, mesmo sabendo-se de antemão que desta forma se obtém resultados menos precisos. Este procedimento só se justificará, porém, se as diferenças entre os graus de precisão obtidos pelo emprêgo dos diferentes métodos não forem tão sensíveis a ponto de afetar seriamente os resultados, ou mesmo invalidá-los diante do objetivo que se tem em mira.

No presente trabalho pretendemos confrontar estes três métodos, estabelecendo, comparativamente, os graus de precisão de cada um, baseando-nos nos desvios padrões dos resultados obtidos, e nos comprimentos dos respectivos intervalos de confiança.

MATERIAL E MÉTODOS

O material empregado foi o seguinte:

- 1 nível Zeiss, modelo Ni2, novo;
- 1 teodolito Keuffel & Esser, analático, provido de arco Beaman, novo;
- 1 mira graduada em cm, de 4 m de comprimento;
- 1 trena de 20 m.

Demarcado um ponto no terreno, em tórno dêle foram dispostos dez outros pontos, sendo dois deles distantes 20 m

do ponto central; dois a 40, dois a 60; dois a 80 e finalmente dois a 100m do ponto central. A disposição destes pontos foi feita ao acaso, isto é, por meio de sorteio.

A seguir foram feitas as determinações das diferenças de nível por dois operadores. A sequência das observações foi determinada também por meio de sorteio, de tal forma que, para as operações com teodolito, o procedimento foi o seguinte: o operador que pelo sorteio foi indicado para efetuar a primeira observação, após instalar o instrumento no ponto central efetuou as leituras da mira sucessivamente nos dez pontos, anotando em cada visada o ângulo de inclinação e a leitura do arco Beaman, além dos demais dados necessários a obtenção da diferença de nível. Terminando, a operação seguinte foi efetuada por ele mesmo ou pelo outro operador, conforme indicasse o sorteio. De qualquer forma, foi o instrumento retirado do ponto central e instalado novamente nesse mesmo ponto para nova série de observações. Foram feitas seis observações de cada ponto com o teodolito, sendo três a cargo de cada operador. As leituras foram feitas avaliando-se milímetros na mira, e as alturas do instrumento medidas com a própria mira, sempre de acordo com os métodos empregados na prática corrente.

Em seguida procedeu-se de maneira idêntica com o nível de precisão, isto é, fez-se um nivelamento geométrico composto tendo o ponto central como estaca inicial, e fazendo-se três mudanças do instrumento para visar-se os dez pontos demarcados no terreno. Foram feitas também seis repetições, três a cargo de cada operador.

Atribuindo-se ao ponto central a cota de 100 metros, calcularam-se as cotas dos demais, até milímetros. Estes resultados foram ordenados segundo distâncias e operadores, conforme se vêem nos quadros I, II e III, a seguir.

RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA

Os resultados individuais constam dos quadros I, II e III e as análises estatísticas parciais, relativas às distâncias em que foram tomadas as cotas, constam nos quadros IV, V e VI.

Pelo teste F, obtivemos os seguintes resultados:

1 — Quadro IV — dados obtidos com nível de precisão. Não foram significativos os efeitos de operadores e de interações, ao nível de 5% de probabilidade.

2 — Quadro V — dados obtidos com teodolito, com leitura de ângulos de inclinação.

Não foram significativos os efeitos de operadores e, com relação às interações, só para distância de 100 metros se mostrou significativa, ao nível de 5% de probabilidade.

3 — Quadro VI — dados obtidos com teodolito, com leitura de arco Beaman.

Não foram significativos os efeitos de interações, porém, encontramos efeitos significativos para operadores, aos níveis de 5% e 1% para as distâncias de 60 a 80 metros respectivamente.

Quanto às variâncias residuais, encontramos resultados bem uniformes no caso de dados obtidos com nível de precisão, e isto permitiu uma análise conjunta, como se pode verificar no quadro VII. Para os dados obtidos com leituras de ângulos de inclinação, as variâncias residuais oscilaram dentro de limites razoáveis, de maneira a permitir também uma análise conjunta, exibida no quadro VIII. Quanto ao teodolito com leituras de arco Beaman, os dados não foram uniformes; verificamos grandes oscilações entre a menor e a maior variância residual. Mas, quando consideramos leituras de dados obtidos a partir das distâncias de 40 a 100 metros, verificamos ser possível reuni-los e fazer análise conjunta relativa as mesmas. Pelo quadro IX temos a análise conjunta para este caso.

Os resultados das análises conjuntas são os seguintes:

1 — Quadro VII — análise conjunta de dados obtidos com nível de precisão.

Pelo teste F verificamos ser significativo o efeito de operadores e das interações operadores x visadas dentro de distâncias, ao nível de 5% de probabilidade. O desvio padrão residual foi bastante pequeno, ou seja, de 1,3 mm, em média, nas distâncias estudadas. Isto indica muita precisão do aparelho e

talvez seja este o motivo do efeito significativo de operadores e interações.

2 — Quadro VIII — análise conjunta de dados obtidos com teodolito, com leituras de ângulos de inclinação.

Neste caso não foi significativo o efeito de operadores e de interações, mas o desvio padrão residual foi muito maior do que o observado com nível de precisão, pois foi de 16,0 mm em média. É, como se vê, cerca de mais de 10 vezes o desvio padrão obtido com aquele aparelho.

3 — QUADRO IX — análise conjunta de dados obtidos com teodolito, com leituras de arco Beaman.

Neste caso, os resultados foram semelhantes aos anteriores, não se encontrando efeito significativo de operadores e interações, porém aqui não se incluíram os dados obtidos a 20 metros. Os desvios padrões residuais são aqui, em média, maiores dos que os obtidos com leituras com ângulos de inclinação. Observa-se que para distância de 20 metros o desvio padrão encontrado é mais ou menos da ordem dos obtidos com ângulos de inclinação, mas isto só ocorreu para esta distância.

QUADRO I

Resultados obtidos com Nível de Precisão

DISTÂNCIAS	OPERADOR N			OPERADOR G		
20 metros	99,531	99,533	99,532	99,532	99,533	99,531
	98,979	98,980	98,978	98,981	98,981	98,979
40 metros	98,240	98,240	98,238	98,240	98,240	98,239
	101,189	101,187	101,185	101,184	101,187	101,185
60 metros	100,071	100,074	100,072	100,073	100,074	100,071
	101,542	101,542	101,541	101,541	101,542	101,539
80 metros	97,861	97,861	97,858	97,857	97,857	97,855
	101,179	101,177	101,180	101,178	101,180	101,178
100 metros	101,499	101,499	101,499	101,498	101,500	101,499
	99,520	99,521	99,521	99,516	99,518	99,520

Observação: Os números da tabela acima são as cotas obtidas para pontos situados nas distâncias de 20, 40, 60, 80 e 100 metros.

QUADRO II

Resultados obtidos com Teodolito com leitura de ângulos de inclinação

DISTANCIAS	OPERADOR N			OPERADOR G		
20 metros	99,548	99,550	99,551	99,550	99,571	99,553
	98,999	99,005	98,997	99,005	99,021	98,994
40 metros	98,264	98,256	98,253	98,266	98,296	98,236
	101,183	101,175	101,193	101,185	101,153	101,194
60 metros	100,073	100,093	100,088	100,056	100,070	100,090
	101,529	101,559	101,553	101,525	101,497	101,534
80 metros	101,183	101,168	101,177	101,175	101,170	101,201
	97,857	97,879	97,850	97,870	97,890	97,862
100 metros	101,487	101,480	101,515	101,484	101,450	101,509
	99,524	99,507	99,517	99,541	99,573	99,562

Observação: Os números da tabela acima são as cotas obtidas para pontos situados nas distâncias de 20, 40, 60, 80 e 100 metros.

QUADRO III

Resultados obtidos com Teodolito com leitura de Arco Beaman

DISTÂNCIAS	OPERADOR N			OPERADOR G		
20 metros	99,560	99,550	99,540	99,555	99,540	99,540
	99,000	99,000	98,990	98,995	99,020	98,980
40 metros	101,160	101,220	101,170	101,155	101,140	101,200
	98,240	98,240	98,272	98,275	98,260	98,220
60 metros	100,080	100,120	100,110	99,995	100,030	100,040
	101,540	101,540	101,550	101,495	101,460	101,560
80 metros	97,860	97,880	97,830	97,835	97,840	97,820
	101,140	101,160	101,190	101,075	101,060	101,160
100 metros	101,420	101,400	101,390	101,375	101,400	101,580
	99,420	99,500	99,590	99,475	99,500	99,480

Observação: Os números da tabela acima são as cotas obtidas para pontos situados nas distâncias de 20, 40, 60, 80 e 100 metros.

QUADRO IV — Análises Estatísticas Parciais de dados obtidos com Nível de Precisão

G.L.	20 metros		40 metros		60 metros		80 metros		100 metros		
	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	
	D	I	S	T	A	N	C	I	A	S	
Observadores	1	0,0000100	0,91	0,0000134	0,63	0,0000034	0,19	0,00001007	5,04	0,0000534	4,02
Visadas	1	0,91521600		26,04853334		6,47094534		33,07716073		11,75724034	
Interação O × V	1	0,0000100	0,91	0,00000299	1,40	0,0000132	0,72	0,00001010	5,05	0,0000532	4,00
Resíduo	8	0,00000110		0,00000213		0,00000183		0,00000200		0,00000133	

QUADRO V — Análises Estatísticas Parciais de dados obtidos com Ângulo de Inclinação

G.L.	20 metros		40 metros		60 metros		80 metros		100 metros		
	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	
	D	I	S	T	A	N	C	I	A	S	
Observadores	1	0,00016134	1,94	0,00002134	0,06	0,00126075	4,92	0,00024300	1,26	0,00066009	1,70
Visadas	1	0,90860034		25,52866700		6,34671075		32,86816300		11,40945009	
Interação O × V	1	0,00000299	0,04	0,00009633	0,27	0,00018409	0,72	0,00002700	0,14	0,00232407	5,97+
Resíduo	8	0,00008325		0,00035450		0,00025617		0,00019280		0,000389930	

QUADRO VI — Análises Estatísticas Parciais de dados obtidos com Arco Beaman

G.L.	20 metros		40 metros		60 metros		80 metros		100 metros		
	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	Q.M.	F	
	D	I	S	T	A	N	C	I	A	S	
Observadores	1	0,00000833	0,054	0,00192533	1,42	0,01083334	12,0++	0,00607500	5,67++	0,00067500	0,13
Visadas	1	0,90750000		25,34032033		6,40940834		32,40653333		11,21333333	
Interação O × V	1	0,00003334	0,21	0,00014701	0,11	0,00140833	1,56	0,00120000	1,12	0,00333334	0,66
Resíduo	8	0,00015420		0,00135617		0,00900000		0,00107083		0,00503750	

QUADRO VII

Análise conjunta de dados de nível de precisão.

	G.L.	Q.M.	F
Operadores	1	0,00000735	4,45+
Distâncias	4	5,31194015	
Interação O × D	4	0,00000277	1,68
Visadas d. dist.	5	15,65381921	
Interação Oxvisadas d. dist.	5	0,00000422	2,56+
Resíduo	40	0,00000165	
Desvio padrão residual $s = 0,00128$ m			1,3 mm

QUADRO VIII

Análise conjunta de dados de ângulos de inclinação.

	G.L.	Q.M.	F
Operadores	1	0,00008166	0,32
Distâncias	4	5,19486714	
Interação O × D	4	0,00056163	2,175
Visadas d. dist.	5	15,42175390	
Interação Oxvisadas d. dist.	5	0,00053990	2,09
Resíduo	40	0,00025820	
Desvio Padrão residual $s = 0,0161$ m			16,0 mm

QUADRO IX

Análise conjunta de dados de Arco Beaman

	G.L.	Q.M.	F
Operadores	1	0,00730134	3,75
Distâncias	3	4,54142855	
Interação O × D	3	0,00349133	1,79
Visadas d. dist.	4	18,91526550	
Interação Oxvisadas d. dist.	4	0,00155550	0,80
Resíduo		0,00194946	
Desvio Padrão residual $s = 0,0442$			44 mm.

CONCLUSÕES GERAIS

1. Verifica-se, evidentemente, a maior vantagem em utilizar nível de precisão em determinações altimétricas, pois os desvios padrões residuais são pequenos, em média de 1,3 mm. O comprimento do intervalo de confiança para as leituras obtidas é em média de 5,2 mm. Dada a precisão do aparelho, há maior exigência de cuidados dos operadores ao fazerem suas determinações.

2. O uso de teodolito para leituras com ângulos de inclinação, na obtenção de dados de altimetria, conduz a resultados com maiores desvios padrões residuais, pois estes são da ordem de 16,0 mm. O comprimento dos intervalos de confiança para as leituras são evidentemente bem maiores, pois são em média de 64,0 mm. Este método, contudo, é menos exigente com relação aos cuidados que os operadores devem ter, ao fazerem suas determinações.
3. O uso de teodolito com arco Beaman, para obtenção de dados altimétricos é desaconselhável, pois além de conduzir a desvios padrões muito altos, estes oscilam muito em relação às distâncias em que os dados são tomados. Basta, para evidenciar este fato, lembrar que os desvios padrões são em média de 44 mm, conduzindo isto a um comprimento de intervalo de confiança de 176 mm.

AGRADECIMENTOS

Expressamos os nossos melhores agradecimentos ao Prof. Frederico Pimentel Gomes, da Cadeira de Matemática, pelas valiosas sugestões oferecidas durante a realização deste trabalho.

