

Comparação entre os métodos de nivelamento geométrico, trigonométrico e por GNSS em um trecho de 4 km da GO-020

***Kézia de Castro Alves¹ (PG), Francisca Vieira Nunes² (IC), Guilherme Ferreira Gonçalves² (IC), Fábio Campos Macedo² (PQ), Pedro Rogerio Giongo³ (PQ).**

¹Universidade Estadual de Goiás, R. da Saudade, 56 - Vila Eduarda. CEP: 76100-000. São Luís de Montes Belos, GO, Brasil. *agr.keziaalves@gmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, R. 75 - St. Central. CEP: 74055-110. Goiânia, GO, Brasil.

³Universidade Estadual de Goiás, Santa Helena de Goias, 75920-000, pedro.giongo@ueg.br.

Resumo: Com a grande demanda de serviços topográficos para diversos tipos de empreendimentos, surgem a cada dia novas tecnologias e técnicas relacionadas à geomensura. Com isto, há um constante questionamento entre os profissionais da área, sobre as melhores formas de executar estes serviços, a fim de obter melhor qualidade nos resultados. Dentre as ramificações da topografia, podemos citar o nivelamento topográfico, o qual possibilita determinar níveis de pontos distintos em relação a um referencial. Para obtenção destes valores, foram utilizadas técnicas como nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico (*Leap-Frog*) e nivelamento por GNSS, que foram detalhadas e aplicadas num trecho de aproximadamente 4 km, na GO-020, entre os municípios de Goiânia e Bela Vista de Goiás. O nivelamento geométrico foi adotado como correto para analisar os demais métodos, com isso pode-se perceber que para cada demanda há um tipo específico de nivelamento, pois a precisão obtida entre os três métodos é coincidente, porém o nivelamento trigonométrico e geométrico necessita de mais tempo para a execução que o nivelamento por GNSS, no entanto os mesmos apresentam custo menor, em média 75% do valor do GNSS.

Palavras-chave: Topografia. Nivelamento. *Leap-Frog*.

Introdução

O nivelamento é uma técnica de levantamento topográfico utilizado para a determinação do desnível de um ponto no terreno, podendo o mesmo ser denominado cota, quando a superfície de referência for um plano arbitrário, e nomeado altitude, baseando-se na distância vertical em relação ao nível médio dos



mares (topografia) ou uma superfície matemática denominada elipsoide de revolução (geodésia). A técnica de nivelamento pode ser dividida em quatro tipos específicos, ou seja, nivelamento trigonométrico, geométrico, barométrico e por GNSS. Estas técnicas se diferenciam principalmente no método de determinação dos níveis, aquisição de dados, suas precisões e nos tipos de equipamentos utilizados no processo.

No nivelamento trigonométrico ou indireto, o desnível é obtido pela determinação de um ângulo zenital, sua distância inclinada e as alturas de instrumento e do refletor, sendo os pontos pertencentes a um plano vertical, este método é realizado utilizando teodolitos ou estações totais. O nivelamento barométrico é obtido a partir da relação entre a altitude e a pressão atmosférica (ESPARTEL, 1980) através de um instrumento chamado barômetro, porém é pouco usual. Já no nivelamento geométrico ou direto, os desníveis são determinados a partir de visadas horizontais feitos com nível de luneta em miras verticais. Para Monico (2008), o nivelamento por GNSS tem com referência uma figura matemática que representa o globo terrestre (elipsoide de revolução), podendo então obter coordenadas geodésicas, ou seja, latitude, longitude e altitude geométrica (h) em cada ponto.

Outra questão que difere os tipos de nivelamento é a precisão que cada um fornece. O nivelamento geométrico apresenta precisões, que variam de acordo com o processo de obtenção dos níveis, a primeira sendo ≤ 1 mm/km (Alta precisão) e a segunda ≤ 1 cm/km (Ordinário). Já o nivelamento trigonométrico apresenta uma precisão ≤ 1 dm/km e o nivelamento barométrico ≤ 1 m/km (FONTE & VICENTE, 2007).

Segundo a NBR 13.133 (ABNT, 1994), o nivelamento pode ser dividido também em quatro classes que se diferenciam de acordo com a função do mesmo, são elas:

- a) Classe IN - Nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico;
- b) Classe IIN - Nivelamento geométrico para determinação de altitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de poligonais para levantamentos



topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado, e obras de engenharia;

c) Classe IIIN - Nivelamento trigonométrico para determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade em projetos;

d) Classe IVN - Nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

Com diversas ramificações advindas do nivelamento topográfico, muito se questiona sobre qual a técnica deve ser mais viável financeiramente, operacionalmente, em tempo de execução e com melhor qualidade e precisão para cada finalidade. Contudo, o presente trabalho teve como objetivo discutir estas e outras questões relacionadas, a fim de auxiliar no cotidiano do profissional da área de geomensura.

Material e Métodos

Todos os pontos levantados e nivelados neste trabalho estão localizados dentro de uma área de estudo de aproximadamente 4 km, localizada no km 30 da GO-020, em trecho que liga a cidade de Goiânia à Bela Vista de Goiás. Esses pontos foram colocados no eixo da ciclovia (pontos estes materializados com prego no asfalto e sinalizados com tinta para que os dados de todos os métodos fossem obtidos no mesmo local), mantendo assim, maior segurança possível para os operadores durante o desenvolvimento do trabalho de campo.

Devido às precisões definidas para o estudo, os levantamentos foram feitos em períodos em que a influência da temperatura pode-se considerar mínima, ou seja, entre os horários de 06h as 09h da manhã ou das 16h às 18h da tarde. Como foram realizados os tipos de nivelamentos trigonométrico, geométrico e por GNSS, utilizaram-se também três equipamentos de medição: estação total, nível geométrico eletrônico e receptor GNSS, respectivamente.



Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico foi realizado utilizando os parâmetros de uma metodologia de levantamento chamada *Leap-Frog* que já foi conceituada durante o desenvolvimento do trabalho. Utilizando uma estação total da marca GeoMax modelo Zoom 20, com a precisão linear de $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$, leitura mínima de 1" e precisão de 5".

Com o equipamento instalado em local intermediário entre dois pontos, foram realizadas visadas ré e vante com distancia de aproximadamente de 250 metros e utilizando o método de iteração nas leituras, sendo as mesmas, repetidas dez vezes variando entre posição direta (5 vezes) e posição inversa da luneta (5 vezes) na estação. Para auxiliar na verticalização do prisma e evitar oscilação na posição e diferença nas leituras, foi utilizado um tripé de prisma.

Todos os valores encontrados foram anotados manualmente pelo operador, sendo realizados os cálculos através de planilhas eletrônicas. Após o cálculo dos desníveis entre os pontos, foi realizado um ajustamento de dados a partir do método paramétrico, amenizando assim erros grosseiros, sistemáticos e acidentais.

Nivelamento Geométrico

O nivelamento geométrico foi realizado com um nível digital óptico Trimble modelo DiNi 0.3, com medição eletrônica; mira de código de barras padrão: 1,0 mm; medição visual: 1,5 mm, no caso específico deste trabalho a mira utilizada foi com código de barra de 4 metros de altura do fabricante Xpex, fixada sob uma sapata de ferro que foi utilizada para demarcar o exato local de posicionamento da mira, evitando que a mesma oscilasse durante as leituras de ré e vante.

A cada 500 metros foram realizados o nivelamento e contra nivelamento, para ter melhor controle em relação aos fechamentos, sendo estes inferiores a 5 mm. As visadas foram de aproximadamente 30 metros para ré e 30 metros para vante, conforme recomendado na Resolução PR nº 22 (21/07/1983) do IBGE - Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos (IBGE, 1983), à qual estabelece que as visadas de ré e vante devem ser equidistantes e inferiores a 100 metros de distância, para compensar os efeitos da curvatura terrestre e da



refração. A altitude do ponto inicial foi obtida através de um receptor GNSS, sendo convertida em altitude ortométrica.

A partir das leituras de diferenças de níveis foi possível determinar as altitudes dos demais pontos intermediários pertencentes à poligonal (no total, sete pontos) com base nos cálculos que foram desenvolvidos anteriormente. Como o nivelamento geométrico é considerado pela NBR 13.133 (1994) o de maior precisão, foi levado em consideração como principal método para fazer a comparação com as demais altitudes obtidas nos outros nivelamentos realizados.

Nivelamento por GNSS

No nivelamento por receptor GNSS foi utilizado um equipamento da marca Trimble modelo R4, um sistema de 220 canais com a tecnologia de rastreamento de satélite Trimble R-Track, capacidade de rastrear sinais L1/L2 e L2C (GPS e GLONASS), rádio interno e com precisões de 3 mm + 0.1 ppm RMS na Horizontal e 3,5 mm + 0,4 ppm RMS na Vertical.

O levantamento foi realizado a partir do método estático, no qual a base (coordenadas conhecidas) foi colocada em um local aleatório, com menor quantidade de obstruções, para evitar erros de propagação do sinal. O receptor móvel foi deslocado pelos pontos da poligonal, onde fora instalado coletando dados por um período de 20 minutos em cada ponto. Os dados coletados pelo receptor foram descarregados com o programa Data Transfer 1.56, convertido para o modo RINEX com o Convert To RINEX_RINEV 2.11 e processados no programa Topcon Tools 7.5.1.

A determinação das coordenadas do ponto base foi realizada pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) disponibilizado pelo IBGE, levando então todos os pontos restantes para este mesmo referencial. Com isso, obtêm-se as coordenadas geográficas do local, referenciados em um elipsoide, porém a altitude mais utilizada para serviços geodésicos é a altitude ortométrica, que é ligada ao nível médio dos mares. Para isso foi necessário à utilização do software MAPGEO2015 disponibilizado pelo IBGE, para conversão dessas altitudes, o qual



aplica a ondulação geoidal a cada altitude de ponto, para obter a altitude ortométrica.

Ajustamento

Após a coleta de dados em campo no nivelamento trigonométrico e no geométrico, e o cálculo dos desníveis entre os pontos, foi realizado um ajustamento das observações. Este foi realizado utilizando o método paramétrico ou de observações indiretas, de Gemaël (1994) e Dalmolin (2002), no qual as grandezas que se procuram ligam-se, matematicamente, as medidas obtidas de forma direta.

Resultados e Discussão

Com base em análises realizadas, fundamentadas na NBR 13.133 (Classe IIN), adotou-se o método de nivelamento geométrico como o mais preciso e como base para a comparação com os outros métodos. Assim, na Tabela 1, tem-se a demonstração dos desníveis obtidos em cada nivelamento: Nivelamento Geométrico (NVG), Nivelamento GNSS (NVGNSS), Nivelamento Trigonométrico (NVT) e também a diferença entre eles em relação ao primeiro.

A partir dos conceitos abordados no decorrer do trabalho, pôde ser alcançado os resultados obtidos na comparação feita entre os três tipos de nivelamento, considerados, com base nas normativas estudadas, como sendo satisfatórios.

Observa-se na Tabela 2, que o desvio padrão de 0,0025 m e -0,0049 m para as discrepâncias altimétricas obtidas entre os nivelamentos indicam que os dados apresentam homogeneidade.

Nota-se que 12,50% das discrepâncias altimétricas entre o nivelamento geométrico com o nivelamento por GNSS tiveram valor maior que um centímetro, e nas discrepâncias altimétricas entre o nivelamento geométrico com o nivelamento trigonométrico esse valor foi de 25,00%, garantindo assim a precisão desejada.

Tabela 1 - Desníveis obtidos por Nivelamento Geométrico (NVG), Nivelamento GNSS (NVGNSS), Nivelamento Trigonométrico (NVT) e a diferença destes em relação ao Nivelamento Geométrico (NVG). Goiânia/GO, 2018.

Pontos	Desníveis			NVG -	NVG -
	NVG	NVGNSS	NVT	NVGNSS	NVT
SAT 3 - E7	-15,6874	-15,7060	-15,6784	0,0186	-0,0090
E7 - E6	1,4343	1,4420	1,4330	-0,0077	0,0013
E6 - E5	-13,1618	-13,1700	-13,1590	0,0082	-0,0028
E5 - E4	-5,5045	-5,4950	-5,5175	-0,0095	0,0131
E4 - E3	-6,7442	-6,7370	-6,7319	-0,0072	-0,0123
E3 - E2	9,0011	9,0010	9,0060	0,0001	-0,0048
E2 - E1	15,8132	15,8070	15,8068	0,0062	0,0064
E1 - SAT 2	18,3482	18,3570	18,3400	-0,0088	0,0082

Tabela 2 – Desvio padrão e percentual das discrepâncias altimétricas.

Parâmetros	NVG – NVGNSS		NVG - NVT	
Desvio Padrão	0,0025		-0,0049	
Máxima discrepância positiva (m)	0,0186		0,0131	
Máxima discrepância negativa (m)	-0,0095		-0,0123	
Nº discrepância > 1cm	1	12,50%	2	25,00%

Na técnica de nivelamento por GNSS, houve a necessidade de permanecer por aproximadamente 20 minutos em cada ponto. Num total de 9 pontos, totalizaram entre 3 e 4 horas de execução em campo, mas deve-se atentar para a diferença de referencial. Dentre os tipos de nivelamento utilizados neste trabalho, o geométrico foi o método que demandou mais tempo, devido às visadas com pouca distância entre os pontos (30 em 30 metros), e aos horários em que foram feitos o levantamento (entre 06 e 09 da manhã e 16 e 18 da tarde) para garantir menor influência da incidência solar. Já o nivelamento trigonométrico obteve-se um tempo razoável, pois as distâncias entre os pontos eram equivalentes a 500 metros, tornando assim mais rápido o percurso.



Para os nivelamentos geométrico e trigonométrico, é preciso que se conheça a fundo a técnica de execução em campo e processamento dos dados para ajustamento, pois é tratado de forma manual e minuciosa, pois há maior probabilidade de ocorrer erros grosseiros (causados pelo operador), já com o GNSS, por ser o método que possui maior tecnologia embutida, tudo é operado em meio computacional e utilizando softwares para processamento. Porém, atualmente se for levado em consideração a tecnologia, praticidade, na busca por estar sempre facilitando o trabalho de seus profissionais, o método mais prático de ser realizado foi o nivelamento por GNSS, o qual exigiu uma equipe menor em campo e mais agilidade.

Considerações Finais

Para analisar o método mais viável, devem ser observados pelo profissional o custo de adesão dos equipamentos, tempo de execução, aprimoramento da técnica, conhecimento da área em estudo e processamento dos dados. Levando em consideração uma breve pesquisa de mercado, nota-se que o valor para adesão ou locação do equipamento utilizado na técnica por GNSS é em média 75% maior se comparado ao Nível Eletrônico (geométrico) e a Estação total (trigonométrico), porém na técnica de nivelamento por GNSS, o tempo gasto foi menor, seguido do nivelamento trigonométrico e posteriormente o nivelamento geométrico, como sendo o método mais lento. Portanto o método mais prático de ser executado foi o nivelamento por GNSS, o qual exigiu uma equipe menor em campo, tendo também como vantagem não necessitar a visibilidade entre os pontos, ou seja, não há necessidade de visualização entre o receptor da base e o receptor móvel.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, por fornecer todo o suporte e equipamentos necessários e ao corpo docente pelo apoio acadêmico e as pesquisas desenvolvidas.



Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Edição Revisada. Curitiba: Imprensa da UFPR, 2002.
- ESPARTEL, L. Curso de Topografia. **Apostila de Topografia**. 1980.
- FONTE, C. M. P.; VICENTE, M. A. F. **Textos de Apoio de Topografia**. Departamento de Matemática, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2007.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: UFPR, 1994. 319p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Especificações e normas gerais para Levantamentos Geodésicos**: R. PR. N°22. Rio de Janeiro, 1983.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento Pelo GNSS, Descrição Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008.