

Discussão do Projeto de Normatização da Rede Cadastral Municipal

Prof^a. Zuleica F. de Medeiros ¹
 Prof. Dr. Sílvio R. C. de Freitas ²
 MSc. Carlito V. de Moraes ³

UFPR, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
 Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica
 Caixa Postal 19011, Cep 81531-990

² ✉ sfreitas@cce.ufpr.br

³ ✉ carlito@geoc.ufpr.br

¹ UFPR - Departamento de Desenho
 ✉ zuleica.medeiros@mais.sul.com.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Sugestões <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Conceituais <ol style="list-style-type: none"> 2.1.1 Geóide 2.1.2 Altitude Ortométrica 2.1.3 Influência das componentes do desvio da vertical na redução do ângulo horizontal à superfície do elipsóide 2.1.4 Influência do campo gravitacional local na determinação de posição e altitude 2.1.5 Fórmulas de transporte de coordenadas na superfície do elipsóide 2.2 Estudo de caso 2.3 Procedimentos utilizados em outros países 3. Conclusões 4. Agradecimentos 5. Referências Bibliográficas
-----------------	---

RESUMO: O primeiro projeto de norma 02:133.17-002, Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, em janeiro de 1998, tenta suprir a necessidade que alguns órgão públicos municipais e estaduais vem tendo ao tentarem unir dados de uma única área, obtidos ou em períodos diferentes ou por órgãos distintos. O projeto é uma primeira tentativa desta uniformização.

Como toda primeira versão, a norma deve ser analisada por todos que dela poderão usufruir, de tal modo que não sejam incutidos erros, quer sejam estes conceituais ou de ordem prática, como por exemplo a incompatibilidade na precisão das altitudes obtidas em cada projeto que por vezes um mesmo órgão executa, porém em períodos diferentes.

Tendo em vista que a rede cadastral municipal, conforme a norma, deve ser referenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e este por sua vez é ligado a uma rede mundial, torna-se necessário analisar também quais os procedimentos que já são utilizados em outros países de modo a manter a unificação mundial também nesta rede cadastral.

Palavras-chave: Materialização de sistema geodésico para o levantamento cadastral

ABSTRACT: The first norm project whose number is 02: 133.17-002, so-called Cadastral Municipal Reference Web - Procedure published by Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brazil, January 1998, has the objective to supply the requirement which some public municipal organism and public state organisms are having in order to find the tempt to connect data of the same area which have been obtained in distinct periods or distinct organisms. The project is the first attempt of this uniformization.

The first norm project has to be analyzed by all person that will have be using in order to there are no conceptual errors as well as pratical order errors; besides the incompatibility in the precision of heights obtained in each project which sometimes is executed by same organism, but in distinct periods.

The Cadastral Municipal Reference Web, according to this norm, must be referenced at the Brazilian Geodetic System that is connected at world network. Therefore the requirement is imperative to analyze the procedures used in others countries in order to keep up with the world unification also cadastral network.

Keywords: Geodetic frame for cadastral surveying

1. Introdução

O projeto de normatização da Rede de Referência Cadastral Municipal (janeiro de 1998), tenta ser um primeiro auxílio aos órgãos públicos e privados que defrontam com a falta de dados unificados de uma área em estudo.

Os autores visam colaborar com o projeto de norma, aprofundando e esclarecendo alguns dos conceitos fundamentais da Geodésia:

- (i) geóide,
- (ii) altitude ortométrica,
- (iii) influência das componentes do desvio da vertical na redução do ângulo horizontal à superfície do elipsóide,
- (iv) influência do campo gravitacional local na determinação de posição e altitude,
- (v) fórmulas de transporte de coordenadas na superfície do elipsóide.

Explana-se também o estudo de nova metodologia aplicada ao nivelamento geométrico, que tem por objetivo a melhoria qualitativa da Rede Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Faz-se ainda uma referência à Lei da Baixa Saxônia, de 02 de julho de 1985, referente à Agrimensura e ao Cadastro de Imóveis, da qual se obtém as diretrizes normativas com respeito:

- (i) às marcas de medição,
- (ii) às medições básicas,
- (iii) ao objetivo e ao conteúdo do cadastro de imóveis,
- (iv) à delimitação e à demarcação entre parcelas.

2. Sugestões

2.1 Conceituais

2.1.1 Geóide

Vaníček & Krakiwsky (1986, p.87) define-se o geóide como uma determinada superfície equipotencial do campo de gravidade, de interesse particular, que melhor aproxima o nível médio do mar sobre toda a Terra. Em uma primeira aproximação, isto é, aproximação de poucos metros, o geóide é representado pelo nível médio dos mares.

2.1.2 Altitude Ortométrica

A altitude ortométrica h de um ponto P_i é definida como a distância geométrica entre o ponto P_o no geóide e o ponto P_i medida ao longo da vertical. As verticais são linhas de força do campo de gravidade terrestre e geometricamente tratam-se de curvas reversas. Na prática obtém-se a altitude ortométrica aproximada por nivelamento geométrico associado à gravimetria. Esta aproximação se deve à impossibilidade do conhecimento da gravidade abaixo da superfície física da Terra.

2.1.3 Influência das componentes do desvio da vertical na redução do ângulo horizontal à superfície do elipsóide

O ângulo observado na superfície física da Terra é determinado por um ângulo diedro, cuja aresta é a linha que coincide com o eixo vertical do instrumento, isto é, com a vertical; o ângulo no ponto correspondente na superfície do elipsóide é medido com um ângulo diedro cujos lados são planos normais e sua aresta é a normal à superfície do elipsóide e, desta forma, devido à inclinação da vertical com relação à normal há a necessidade de introduzir a correção ΔM na direção observada (Zakatov, 1981, p. 440-1) dada por:

$$\Delta M = (\eta \cos \alpha_{ik} - \zeta \operatorname{sen} \alpha_{ik}) \cot g z_i \quad (2.1)$$

na qual,

- η , denominada componente 1º vertical, é a projeção do desvio da vertical no plano do 1º vertical;
- ζ , denominada componente meridiana, é a projeção do desvio da vertical no plano meridiano; e
- α_{ik} é o azimute geodésico (origem no norte) da geodésica que liga as estações i e k

O valor numérico de ΔM é da ordem de centésimos de segundos e deve ser considerado, sobretudo, nas regiões montanhosas onde a inclinação da linha vertical alcança algumas dezenas de segundos. Por exemplo, na estação de Lower Rauje ($\varphi = +27^\circ 39'$, $\lambda = +86^\circ 37'$) localizada a cerca de 46 km do Monte Everest foram calculadas, em relação ao elipsóide internacional, a componente meridiana de valor $\zeta = -71,1''$ e a componente 1º vertical de valor $\eta = -4,5''$ (Caporali, 1994). Estes valores juntamente com $\alpha_{ik} = 45^\circ$ e $z_i = 89^\circ 30'$ ao calcular a (2.1) resulta $\Delta M = +0,41''$.

2.1.4 Influência do campo gravitacional local na determinação de posição e altitude

Nas redes geodésicas planas a influência da alteração da direção vertical normalmente fica desprezada. A vertical local, porém, é a direção de referência na qual os instrumentos se orientam.

Grafarend (1987) coloca a questão se a determinação de posição e altitude é possível na região do milímetro e justifica numericamente que mesmo em redes geodésicas locais de 25 metros de extensão as alterações da direção vertical devem ser consideradas a fim de tornar possível a precisão milimétrica dos instrumentos. É provado por Grafarend que nas redes geodésicas locais de aproximadamente 25 metros de extensão os erros nas coordenadas situam-se em redor de 1 milímetro e nas redes geodésicas locais de aproximadamente 500 metros de extensão esses erros situam-se entre 10 a 30 centímetros.

Tais erros mostram que a influência do campo gravitacional local, manifestado na mudança da vertical local, não pode ser negligenciada a fim de que se obtenha uma rede geodésica precisa.

2.1.5 Fórmulas de transporte de coordenadas na superfície do elipsóide

As fórmulas de Puissant, tão comum na literatura de ciências geodésicas e utilizadas na prática como instrumento matemático à materialização do sistema geodésico para levantamento cadastral, empregam os três primeiros termos (com simplificação) da fórmula de Taylor para calcular os acréscimos $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ e $\Delta\alpha$. Admitindo que os acréscimos sejam função da distância geodésica S , a fórmula de Taylor com resto na forma de derivada

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!} f'(0) + \frac{x^2}{2!} f''(0) + \dots + \frac{x^n}{n!} f^{(n)}(0) + R_n(x); \quad (2.2a)$$

na qual

$$R(x) = x^{n+1} \frac{f^{(n+1)}(c)}{(n+1)!}, \quad (2.2b)$$

e c é algum número entre zero e x , escreve-se

$$\varphi = \varphi_1 + S \left(\frac{d\varphi}{dS} \right)_1 + \frac{S^2}{2} \left(\frac{d^2\varphi}{dS^2} \right)_1 + \frac{S^3}{6} \left(\frac{d^3\varphi}{dS^3} \right)_1 + \dots \quad (2.3a)$$

$$\lambda = \lambda_1 + S \left(\frac{d\lambda}{dS} \right)_1 + \frac{S^2}{2} \left(\frac{d^2\lambda}{dS^2} \right)_1 + \frac{S^3}{6} \left(\frac{d^3\lambda}{dS^3} \right)_1 + \dots \quad (2.3b)$$

$$\alpha = \alpha_1 + S \left(\frac{d\alpha}{dS} \right)_1 + \frac{S^2}{2} \left(\frac{d^2\alpha}{dS^2} \right)_1 + \frac{S^3}{6} \left(\frac{d^3\alpha}{dS^3} \right)_1 + \dots \quad (2.3c)$$

nas quais

φ , λ e α são as incógnitas: latitude, longitude e azimute geodésicos respectivamente;

φ_1 , λ_1 e α_1 e S são os elementos conhecidos.

As diferenciais de 1ª ordem são

$$\frac{d\varphi}{dS} = \frac{\cos\alpha}{M}, \quad (2.4a)$$

$$\frac{d\lambda}{dS} = \frac{\operatorname{sen}\alpha}{N \cos\varphi}, \quad (2.4b)$$

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{\operatorname{sen}\alpha \operatorname{tg}\varphi}{N}, \quad (2.4c)$$

nas quais

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi_1)^{\frac{3}{2}}}, \quad N = \frac{a}{(1-e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi_1)^{\frac{1}{2}}}; \quad (2.5a, b)$$

e e^2 são o semi-eixo maior do elipsóide e o quadrado da excentricidade, respectivamente.

Na (2.3a) para $S = 100$ km, no caso de $\varphi_1 = 45^\circ$, os termos negligenciados da 4ª derivada são inferiores a $0,002''$; para o mesmo valor de φ_1 e $\alpha_1 = 45^\circ$ os termos em S^3 alcançam $0,01''$ para $S = 40$ km e $0,001''$ para $S = 20$ km (Ciconetti, 1938, p. 109).

Os sucessivos termos das séries requerem avaliação visto que as incógnitas φ , λ e α dependem da latitude φ_1 , do comprimento S da linha geodésica e do azimute α_1 .

Pretendendo a obtenção de erro menor que 1 mm, em posição, é necessário o desenvolvimento até o termo cujo valor numérico resulte menor que $0,000\ 01''$.

O desenvolvimento das séries a partir do 4º termo torna-se extremamente trabalhoso; por exemplo, $\frac{d^4\varphi}{dS^4}$ compreende 9 termos. Outra dificuldade ao trabalhar com as séries é a obtenção da solução do problema inverso.

Dadas estas dificuldades e a necessidade de melhorar a precisão dos resultados é conveniente estudar fórmulas mais adequadas, por exemplo, as de Sodano as quais podem ser encontradas nas seguintes publicações:

- (i) **Sodano, E. M.** *A rigorous non-iterative procedure for rapid inverse solution of very long geodesics.* *Bulletin Géodésique*, n. 48, p.13-25, 1958;
- (ii) **Sodano, E. M.** *General non-iterative solution of the inverse and direct geodetic problems.* *Bulletin Géodésique*, n. 75, p. 69-89, 1965;
- (iii) **Sodano, E. M.** *Supplement of inverse solution of long geodesics.* *Bulletin Géodésique*, n. 85, p.233-236, 1967.

Estas publicações apresentam fórmulas alternativas para a solução rigorosa e não-iterativa de geodésicas longas assim como de geodésicas médias e geodésicas muito curtas.

Uma geodésica curta de 1 594, 307 213 m, que liga o ponto 1 ($\varphi = +45^\circ$; $\lambda = +12^\circ 11' 18''$) ao ponto 2 ($\varphi = +45^\circ 00' 36,5''$; $\lambda = +12^\circ 12' 09,5''$) e $\alpha_{12} = 45^\circ 01' 23,402 10''$ apresenta discrepâncias entre solução direta e inversa de $\Delta \varphi = 0, 000 000 05''$, $\Delta \lambda = 0, 000 000 27''$ e $\Delta \alpha = 0, 000 11''$ (Sodano, 1965).

2.2 Estudo de caso

Atualmente a Rede Vertical do SGB é normatizada pela PR no 22 de 21 de julho de 1983 (IBGE,1996) que preconiza a precisão de 3 mm \sqrt{K} (K distância em quilômetros) entre pontos extremos de uma seção de nivelamento. Mas os padrões internacionais apontam para um nível desejável a precisão de um 1mm \sqrt{K} . O Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG) da UFPR em convênio firmado com o IBGE implantou uma rede científica no campus III nesta Universidade para a realização de estudos que visem a adequação do método e controle necessário a fim de atingir a precisão internacional.

Para um aproveitamento melhor do instrumental, o LAIG já vem utilizando os equipamentos de: sistema de aferição de miras, sistema de retificação de níveis ópticos com colimadores e rede científica. Outro aspecto é a melhoria na metodologia empregada de modo a eliminar/minimizar erros do tipo:

- (i) instrumental: erro de colimação, erro do micrômetro, erro de verticalidade da mira e erro na graduação da fita de invar da mira,
- (ii) ambientais: refração atmosférica (refração nivelítica, reverberação, flutuação), instabilidade do solo,
- (iii) geodinâmicos.

Quanto à metodologia utilizada, os estudos demonstraram ser possível melhorar a precisão através do emprego de alguns cuidados em campo (Medeiros et al. 1996).

Por exemplo: alguns dos erros cometidos surgem quando da realização dos nivelamentos nos períodos da manhã e tarde e evitando-se o horário das 10 às 15 horas. Com isto tenta-se eliminar o problema de reverberação, porém imbuete-se aí um outro erro, a refração nivelítica, que ocorre com maior intensidade exatamente no período em que atualmente se realizam os nivelamentos (manhã/tarde), onde a troca de calor entre as camadas de ar e da Terra são mais intensas e afetam as leituras.

Kukamakki (1945) já havia estudado a refração nivelítica e sugerido uma formulação para minimizar os seu efeitos. Seu estudo tem mostrado ser útil quando se quer corrigir este erro em levantamentos já realizados, mas trabalhoso quando se quer realizar um novo nivelamento. Com isto o LAIG estudou a possível eliminação deste efeito, e demonstrou que uma simples mudança de horários na realização dos nivelamentos minimiza o efeito da refração nivelítica. E para que não inclua a reverberação é suficiente que se reduza a distância na leitura das linhas de visada. Assim os dois problemas são solucionados.

Nos estudos realizados, ainda percebeu-se o problema da instabilidade das referências de nível (RRNN) (Freitas,1998), onde a movimentação das RRNN na rede científica teve uma variação de -9 à +5,3 mm. Este é um fator importante a ser analisado quando se pretende posicionar uma RRNN ou qualquer outro ponto de referência. Segundo Arca & Marchioni (1983) e Arca & Beretta (1985) deve-se ter um estudo cuidadoso do solo da região onde irão ser implantados os pontos.

2.3 Procedimentos utilizados em outros países

Mostrar-se-á partes da Lei da Baixa Saxônia (Niedersachsen/Alemanha), de 2 de julho de 1985, referente à Agrimensura e ao Cadastro de Imóveis obtida em Möllering (1985). Destaque-se, com tradução livre, da primeira parte o § 4 que trata das marcas de medição e demarcação, da segunda parte o § 6 que dá as diretrizes sobre as medições básicas, da terceira parte o § 11 que estabelece o objetivo e o conteúdo do cadastro de imóveis e o § 16 que dá diretrizes sobre a delimitação e a demarcação entre parcelas de território rural.

PRIMEIRA PARTE

Generalidades

§ 4

Marcas de medição e demarcação

(1) Proprietários e usuários de imóveis deverão tolerar a colocação de marcas para fins de indicação oficial de pontos de medição (marcas de medição) e de limites (marcos de limite) em seus terrenos e construções, bem como a colocação de sinais de medição durante o período em que durarem os trabalhos de medição. Proprietários e usuários de imóveis deverão abster-se de atitudes que possam interferir nas marcas de medição e de limite impedindo o seu reconhecimento e a sua utilização.

(2) Marcas de medição e de limite somente poderão ser colocadas, mudadas de posição e retiradas por pessoas autorizadas.

(3) Com o objetivo de proteger marcas de medição, pode-se requerer uma área em que não se poderá proceder a nenhuma construção, terraplenagem ou outra forma de alteração da mesma. O Secretário de Estado competente para tal pasta poderá promulgar um decreto determinando os pontos de medição para os quais pode-se requerer uma área de proteção e a forma como a mesma será delimitada.

(4) Quem pretender tomar qualquer medida que venha a colocar em risco marcas de medição, deverá comunicar o fato à autoridade

competente para assuntos de agrimensura e de registro de imóveis. O proprietário ou usuário de imóvel que tomar conhecimento de que marcas de medição foram extraviadas, danificadas ou tiveram a sua posição alterada também deverão comunicar o fato às autoridades competentes.

SEGUNDA PARTE

Agrimensura

§ 6

Medições básicas

- (1) Através de medições básicas deverão ser criados sistemas geodésicos de referência para todas as demais medições oficiais.
- (2) Em todo o Estado deverão ser estabelecidos, indicados e conservados pontos de referência, determinando-se a sua localização, altitude e gravidade sobre a Terra.
- (3) Os pontos de referência deverão ser indicados através de marcas de medição (colocação de marcas) e preservados.

TERCEIRA PARTE

Cadastro de imóveis

§ 11

Objetivo e conteúdo

- (2) O Cadastro de Imóveis constitui um inventário oficial de terrenos conforme o § 2 item 2 do Código de Registro Predial. Dele constam os resultados das avaliações oficiais de imóveis conforme a Lei de Avaliação de Imóveis de 16 de outubro de 1934 (Diário Oficial da União 1, p. 1050), alterado através do artigo 95 nº 4 da Lei de Introdução ao Código de Emolumentos de 14 de dezembro de 1976 (Diário Oficial I, p. 3341).
- (3) Os proprietários de terrenos e pessoas que detenham direitos de superfície deverão estar ali relacionados. Os dados devem conferir com aqueles constantes do Registro de Imóveis.

§ 16

Delimitação e demarcação

- (1) Os limites entre parcelas de território rural indicados no Cadastro de Imóveis são determinadas atendendo a requerimento ou "ex officio" (delimitação).
- (2) Limites já determinados entre parcelas de território rural deverão ser indicados através de marcos (demarcação), caso não existam no local dispositivos permanentes para reconhecimento dos limites. Limites entre parcelas de território rural não serão demarcados, se as partes envolvidas assim o solicitarem e caso tal fato não interfira em interesses oficiais.
- (3) O item anterior vale no caso de serem estabelecidos novos limites entre parcelas de território rural ou determinados novos limites em decorrência de sentença judicial ou através de acordo.

3. Conclusões

A influência das componentes do desvio da vertical na redução do ângulo horizontal à superfície do elipsóide deve sempre ser levada em consideração a fim de minimizar a presença de erro sistemático nas coordenadas.

A influência do campo gravitacional local na determinação de posição e altitude abordado por *Grafarend* nas redes geodésicas planas é um convite para que se retome o estudo do plano topográfico.

Buscou-se o fundamento matemático das fórmulas de Puissant. Agora pode-se obter todos os termos necessários, tomando por base o erro de truncamento da série através da avaliação do resto na forma de derivada (2.2b), mas observe-se que a (2.4a) é obtida mediante a aproximação do elipsóide a uma esfera.

A partir dos estudos realizados na rede científica da UFPR, demonstra-se a possibilidade de melhoria na realização dos nivelamentos geométricos de precisão, de modo que sem a mudança do instrumental usualmente utilizado, é possível o transporte das altitudes das RRNN para os pontos de apoio imediato da rede cadastral mantendo-se o nível de precisão desejável.

A necessidade dos marcos conforme trata o primeiro projeto de norma 02:133.17-002, Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento (janeiro de 1998) é também previsto na lei da Baixa Saxônia, de 02 de julho de 1985, referente à Agrimensura e ao Cadastro de Imóveis.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa Tecnológico (CNPq) o apoio financeiro ao projeto nº524030/96 (NV) e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a bolsa de doutoramento ao terceiro autor.

5. Referências Bibliográficas

Arca, S.; Beretta, G. P.: *Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale (1897-1957)*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, No 2/1985, p. 125-156.

Arca, S.; Marchioni, A.: *I movimenti verticali del suolo nelle zone della Campania e della Basilicata interessate dal sisma del novembre 1980*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, No 2/1983, p. 125-135.

Caporali, A.: *La deviazione della verticale in Nepal*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, No 4/1994, p. 355-365.

Ciconetti, G.: *Trattato di Geodesia e Topografia*, Francesco Vallardi, Milano, 1938, 592p., v. I

De Freitas, S. R. C.; Faggion, P. L.; Medeiros, Z. F.: *Controle da estabilidade das RRNN (Padrão IBGE) utilizando nivelamento geométrico*, Revista Brasileira de Cartografia, No 49/1998, p. 1-6.

Grafarend, E. W.: *Der Einfluss der Lotrichtung auf lokale geodätische Netze*, Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 8/1987, Seite 413-424.

IBGE: *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (Coletânea das Normas Vigentes)*, Departamento de Geodésia, Rio de Janeiro, 1996

Kukamakki, T. J.: *La refraccion nivelítica*, tradução do alemão por Direcion General del Instituto Geográfico Militar, No 4/1945.

Medeiros, Z. F.; Faggion, P. L.; Johansson Junior, A.; Goncho, G.; Miranda, J. M. P.; De Freitas, S. R. C.: Otimização dos Levantamentos Altimétricos de Precisão. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, abril 21-23, 1996.

Möllerin, H.: *Das neue Niedersächsische Vermessungs- und Katastergesetz*, Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 11/1985, Seite 513-522.

Sodano, E. M.: *General non-iterative solution of the inverse and direct geodetic problems*, Bulletin Géodésique, No 75/1965, p. 69-89.

Vaníček, P.; Krakiwsky, E. J.: *Geodesy: the concepts*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1986, 697 p.

Zakatov, P. S.: *Curso de Geodesia superior*, editorial Mir, Moscou, 1981, 635 p.