

RRCM e tolerâncias 3D: análise da norma técnica NBR14166/2022

Authors:

Ivandro Klein | IFSC | ivandro.klein@ifsc.edu.br

Rovane Marcos de França | IFSC | rovane@ifsc.edu.br

Adolfo Lino de Araújo | IFSC | adolfo.lino@ifsc.edu.br

Flavio Boscatto | IFSC | flavio.boscatto@ifsc.edu.br

INTRODUÇÃO

A Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) é a base geométrica sobre a qual todas as informações espaciais do cadastro territorial de um município são referenciadas.

No Brasil, os parâmetros técnicos da RRCM são definidos por meio da NBR14166/2022.

Entretanto, devido à sua recente publicação, ainda são escassos os estudos que abordam de forma aprofundada os parâmetros técnicos desta referida norma técnica.

Neste contexto, para a implantação de vértices superiores da RRCM, o erro de fechamento 3D dos vetores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) não deve exceder $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

Este trabalho busca revisitar esse critério, tanto por uma tolerância teórica para erros de fechamento 3D definida por propagação de erros quanto por um estudo de caso da RRCM de Joinville/SC, uma das RRCM pioneiras no Brasil nos moldes da NBR14166/2022.

TOLERÂNCIA PARA ERROS DE FECHAMENTO 3D DE VETORES GNSS POR PROPAGAÇÃO DE ERROS

A precisão nominal atual do posicionamento relativo estático pós-processado informada por boa parte dos receptores GNSS disponíveis no mercado é da ordem de 2,5 mm + 0,1 ppm na componente horizontal e de 3,5 mm + 0,4 ppm na componente vertical.

Outra importante fonte de erro diz respeito ao erro de centragem, cujo valor fornecido por alguns fabricantes é da ordem de 1 mm por metro de altura do receptor instalado em tripé com base nivelante, como no caso da ocupação de vértices superiores de uma RRCM.

Além disso, tem-se ainda o erro de medição da altura do instrumento com trena, cujo valor esperado é da ordem de 1,5 mm, desconsiderando os casos de centragem forçada.

Por fim, os lados (vetores GNSS) de um polígono de três lados devem ser obtidos por duas ou três sessões de rastreio diferentes, para garantir independência dos vetores GNSS.

TOLERÂNCIA PARA ERROS DE FECHAMENTO 3D DE VETORES GNSS POR PROPAGAÇÃO DE ERROS

Considerando as fontes de erros descritas, o fechamento de um triângulo cujos vetores GNSS foram obtidos em três sessões de rastreio distintas tem as seguintes incertezas esperadas (desvios-padrões) nas componentes horizontal e vertical, respectivamente:

$$\sigma_H = \sqrt{3 \cdot [2 \cdot (1,5 \text{ mm})^2 + (2,5 \text{ mm})^2 + (0,1 \text{ ppm})^2]} = 5,7 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm}$$

$$\sigma_V = \sqrt{3 \cdot [2 \cdot (1,5 \text{ mm})^2 + (3,5 \text{ mm})^2 + (0,4 \text{ ppm})^2]} = 7,1 \text{ mm} + 0,7 \text{ ppm}$$

Para a resultante tridimensional (3D), tem-se: $\sigma_{3D} = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_V^2} = 9,1 \text{ mm} + 0,7 \text{ ppm}$

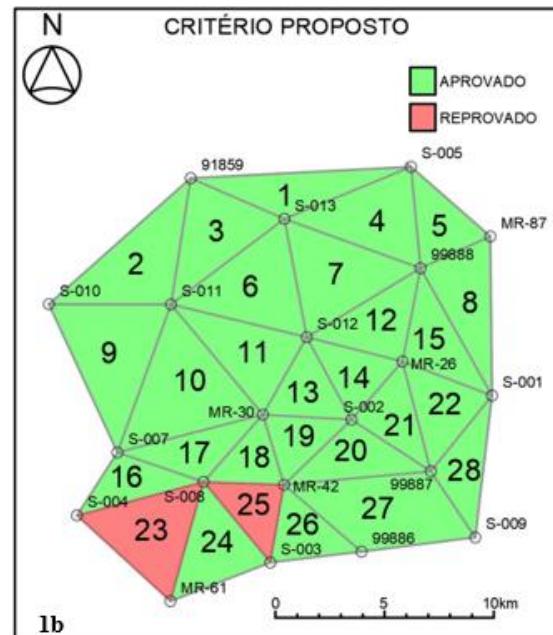
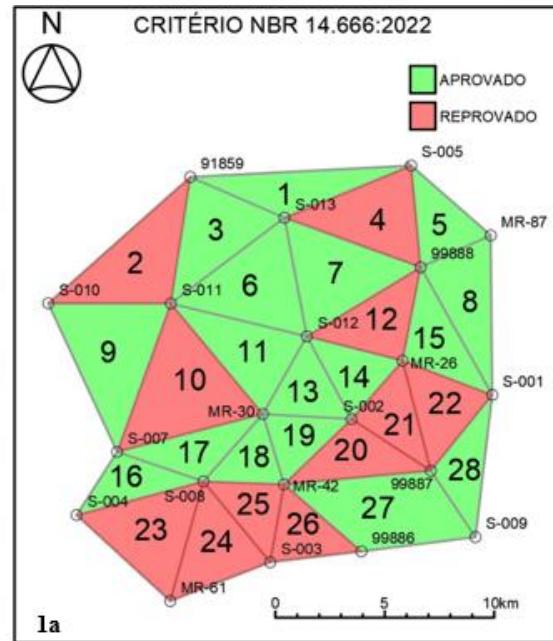
Assumindo a tolerância usual de três desvios-padrão (“regra dos três sigmas”), relativa a um nível de confiança de $NC = 0,99863$ ($\approx 99,9\%$), resulta no seguinte critério:

$$T_{3D} = 3 \cdot (9,1 \text{ mm} + 0,7 \text{ ppm}) = 27,2 \text{ mm} + 2,1 \text{ ppm}$$

Considerando uma margem de segurança, propõe-se: $T_{3D} = \pm(30 \text{ mm} + 2,5 \text{ ppm})$

EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES

Polígono	Extensão 3D (km)	Erro 3D (mm)	Tolerância (mm)	Tolerância proposta (mm)
1	12,8	27	31	83
2	11,9	40	30	80
3	9,9	8	27	73
4	10,2	47	28	74
5	7,6	14	23	63
6	10,7	24	28	76
7	10,6	26	28	76
8	10,5	27	28	74
9	11,8	28	30	81
10	11,9	46	31	82
11	10,0	15	27	73
12	8,7	32	25	67
13	7,2	11	22	61
14	7,2	15	22	61
15	9,1	5	25	69
16	8,1	10	24	64
17	9,0	23	25	68
18	6,5	20	21	58
19	6,8	18	22	59
20	9,1	46	25	68
21	7,6	49	23	63
22	8,1	47	24	65
23	10,1	77	27	74
24	8,9	47	25	68
25	7,0	62	22	60
26	7,2	30	22	61
27	7,9	19	27	72
28	8,7	33	25	67



EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES

Analizando a Tabela 1 e a Figura 1a, nota-se que 11 dos 28 polígonos ($\approx 39,3\%$ do total) possuem erros de fechamento 3D excedendo a tolerância de $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ da NBR14166/2022. Destaca-se os polígonos “4”, “10” e “12”, que excedem a referida tolerância mas estão envoltos por polígonos que atendem a tolerância com os mesmos vetores.

Analizando a Tabela 1 e a Figura 1b, nota-se que apenas 2 dos 28 polígonos ($\approx 7,1\%$ do total) possuem erros de fechamento excedendo a tolerância proposta de $\pm(30 \text{ mm} + 2,5 \text{ ppm})$. Além disso, os valores excedentes são de no máximo 3 mm, enquanto na tolerância de $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ da NBR14166/2022 os valores excedentes atingem até 50 mm.

Destaca-se que dos 50 vetores originais, 42 (84% do total) tiveram que ser rastreados novamente para atender ao critério de tolerância de fechamento 3D de $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

Com o novo valor proposto de $\pm(30 \text{ mm} + 2,5 \text{ ppm})$, certamente este número seria muito menor, o qual estimamos em apenas 9 vetores a serem repetidos (considerando a mesma proporção de triângulos rejeitados).

CONCLUSÕES

Estes resultados, além da análise teórica realizada, fornecem indícios que a tolerância do erro de fechamento 3D de $\pm(10\text{ mm} + 1\text{ ppm})$ da NBR14166/2022 para RRCM é muito rigorosa.

Essa conclusão revela-se particularmente pertinente, uma vez que as normas técnicas devem estabelecer parâmetros exequíveis aos profissionais, respaldados por fundamentos sólidos sob as perspectivas teórica e técnica, a fim de garantir a sua efetiva aplicabilidade.

Além disso, os 50 vetores GNSS da primeira campanha foram aprovados nos demais critérios técnicos da NBR14166/2022, o que diminui a probabilidade da hipótese de erros grosseiros.

A consideração dos erros de centragem e de altura da antena em diversas ocupações visando garantir a independência das linhas-base se mostrou adequada aos resultados obtidos.

Portanto, em síntese, recomenda-se a adoção do novo valor aqui proposto para os erros de fechamento 3D de polígonos formados por vetores GNSS em RRCM: $\pm(30\text{ mm} + 2,5\text{ ppm})$.

ACKNOWLEDGEMENTS

CNPq – Bolsa de produtividade em pesquisa ao 1º autor (processo 303679/2025-5)

Prefeitura Municipal de Joinville/SC – Fornecimento dos dados GNSS



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA



execução



FEESC



GOTT



PPCTG
UFSC



LabFSG
Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e
Computação Social

patrocinadores



INCRA



MINISTÉRIO DA
GESTÃO E DA INOVAÇÃO
EM SERVIÇOS PÚBLICOS



GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO PÔVO BRASILEIRO



mutua
Caixa de Assistência dos Profissionais da Cruz



CNPq



Topocart



geopixel®
INTELIGÊNCIA MUNICIPAL



SINDUSCON
GRANDES FLORIANÓPOLIS



MAPPER GIS
Inovação e Inovação



KASAY
INGENIERÍA
Inovação Empresarial



conexões
para inovar