

**ANÁLISE DA PRECISÃO OBTIDA NO LEVANTAMENTO DOS  
VÉRTICES DEFINIDORES DOS LIMITES DOS IMÓVEIS,  
ATRAVÉS DA PROPAGAÇÃO DE ERROS, E COMPARAÇÃO COM  
O INSTITUÍDO PELO DECRETO Nº 9.310/2018**

*Analysis of the accuracy in topographic survey of the defining vertices of  
the limit of the property, through the propagation of errors, and  
a comparison with that established by Decree 9.310 / 2018*

**Priscila de Lima e Silva**

**Universidade Federal de Viçosa**

Departamento de Engenharia de Agrimensura  
Viçosa, Minas Gerais  
priscila.l.silva@ufv.br

**Iann Gomes Rodrigues da Fonseca**

**Universidade Federal de Viçosa**

Departamento de Engenharia de Agrimensura  
Viçosa, Minas Gerais  
iann.fonseca@ufv.br

**Éder Teixeira Marques**

**Universidade Federal de Viçosa**

Departamento de Engenharia de Agrimensura  
Viçosa, Minas Gerais  
eder@ufv.br

**Dalto Domingues Rodrigues**

**Universidade Federal de Viçosa**

Departamento de Engenharia de Agrimensura  
Viçosa, Minas Gerais  
dalto@ufv.br

**Resumo:**

As informações providas de um Cadastro Territorial, propiciam um bom conhecimento sobre o território, possibilitando um melhor planejamento e administração municipal. Devido à importância destas informações, em 2016, foi publicado no Brasil o Decreto Nº 8.764 que instituiu o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), sendo uma ferramenta para gestão pública que irá integrar, em um banco de dados espaciais, os dados jurídicos, fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios. Em 2018 foi publicado o Decreto Nº 9.310, definindo as normativas a serem seguidas para a Regularização dos Imóveis Urbanos (Reurb) no Brasil. Este decreto definiu também, que os vértices definidores dos limites dos imóveis deverão ser georreferenciados, com erro posicional esférico igual ou inferior a oito centímetros, e os levantamentos topográficos deverão ser emitidos eletronicamente, por profissionais habilitados,

ao SINTER. No entanto, diversos projetos de Cadastro Territorial já foram e estão sendo desenvolvidos no Brasil, seguindo o que é colocado nas NBR 13.133 e NBR 14.166, que foram publicadas em 1996 e 1998, respectivamente. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a precisão obtida no levantamento de vértices definidores de limites de imóveis e comparar se este é condizente com o limiar colocado pelo Decreto Nº 9.310. Para análise da precisão, considerou-se como amostragem poligonais levantadas de acordo com o disposto nas NBR 13.133 e NBR 14.166. Primeiramente aplicou-se o ajustamento por mínimos quadrados através do método paramétrico, para obter as coordenadas ajustadas e os valores de precisão das estações levantadas na poligonização. A partir das precisões das estações, pelo método de propagação de covariância, obteve-se a precisão dos pontos irradiados, ou seja, a precisão dos vértices definidores dos limites dos imóveis. Na grande maioria dos casos, os valores de precisão encontrados foram superiores a oito centímetros. A partir destes resultados, para avaliar o porquê dos altos valores de desvio padrão observados, realizou-se um estudo de variação da precisão das estações e das distâncias a fim de averiguar a influência promovida sobre os pontos irradiados. A partir desta análise, foi possível perceber que a precisão das estações tem grande influência sobre a precisão do ponto irradiado. Desta forma, pode-se concluir que para se atender o colocado no Decreto Nº 9.310, primeiramente terão que ser definidas quais as precisões máximas que podem ser alcançadas na determinação dos marcos da rede de referência cadastral.

**Palavras-chave:** Cadastro Territorial, Propagação de Erro, SINTER, Reurb.

### **Abstract**

The Territorial Cadastre provides a good knowledge about the territory, enabling better planning and municipal administration. In 2016, the Decree 8.764 was published in Brazil, this Decree establishes the National System of Territorial Information Management (SINTER). SINTER is a public management tool that will integrate the data in a spatial database legal, tax, and registration and geospatial data of urban and rural properties estate produced by the Union, the States, the Federal District and the Municipalities. In 2018 was published the Decree 9.310, defining the regulations to be followed for the Regularization of Urban Properties Estate (Reurb) in Brazil. This decree also defined that the limits of the properties must be georeferenced and the resulting accuracy must be less than or equal to eight centimeters, and topographic surveys must be issued electronically by professionals qualified for SINTER. However, several Territorial Cadastre projects were developed in Brazil, based on standards NBR 13,133 and NBR 14,166, which were published in 1996 and 1998, respectively. This work aims to analyze the accuracy obtained in the topographic survey of the defining vertices of the limit of a property and compare if this is in accordance with the tolerance established by Decree 9.310. We used, as sampling, traverse data was based on the provisions of NBR 13.133 and NBR 14.166. First, the parametric least square adjustment was applied to obtain the adjusted coordinates and the precision values of the stations in the traverse. From the precision of the stations the precision of the irradiated points by the covariance propagation method was obtained, these points refer to the defining vertices of the property. In most cases, the accuracy values found were greater than eight centimeters. Through these results, a study of variation of the accuracy of the stations and the distances was carried out, in order to verify the influence promoted in the irradiated points. This analysis was possible to perceive that the precision of the stations has great influence on the precision of the irradiated point. Therefore, we can be concluded that in order to achieve the requirements of Decree N 9.310, we need to be defined which maximum precisions can be reached in determining the benchmarks of the cadastral reference network.

**Keywords:** Territorial Cadastre, Error Propagation, SINTER, Reurb.

## **1. INTRODUÇÃO**

O Cadastro Territorial (CT) compreende as medições, que representam toda a parte cartográfica, a avaliação socioeconômica da população, a legislação e a parte econômica, principalmente no que se refere à utilização mais racional da ocupação do espaço (LOCH, 2005). Desta forma, o CT, fornece informações para que se tenha um bom conhecimento do território, possibilitando uma melhor administração e planejamento, ao unir as informações espaciais e as socioeconômicas.

O avanço tecnológico possibilitou novas técnicas e ferramentas para a medição e

representação do espaço. A utilização de equipamentos digitais, como as estações totais, tornou o processo de levantamento topográfico menos oneroso, mais rápido e acurado. No entanto, em todo processo de coleta de dados a incerteza é inerente, devido aos erros associados aos métodos e instrumentos utilizados, como ocorre a propagação e transmissão destes erros, é necessário gerenciá-los e observá-los na elaboração de uma base cartográfica (SANTOS et al., 2015).

No Brasil, a NBR 13.133, regulamenta a execução de levantamento topográfico, apresentando os métodos existentes e definindo as tolerâncias de precisão a serem seguidas. Na referida norma é colocado que em levantamentos topográficos por poligonação deve-se, quando possível, calcular os erros de fechamento linear, angular e altimétrico, analisar se estes são menores que as tolerâncias indicadas, e em caso afirmativo, realizar a distribuição destes erros.

A NBR 14.166 apresenta os procedimentos a serem seguidos para a implantação de uma rede de referência cadastral municipal. Uma rede de referência cadastral é uma rede de apoio básico de âmbito municipal, constituída por pontos de coordenadas planialtimétricas, materializadas no terreno, referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), ela permite a amarração e conseqüente incorporação de todos os trabalhos de topografia e cartografia realizados no município (ABNT, 1998).

Em maio de 2016, foi publicado no Brasil o Decreto Nº 8.764 que instituiu o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), como uma ferramenta de gestão pública que irá integrar, em um banco de dados espaciais, os dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos, os dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios.

O Decreto Nº 9.310, publicado em maio de 2018, instituiu as normas gerais e os procedimentos a serem seguidos para à Regularização Fundiária Urbana (Reurb) no território brasileiro. Este decreto também contemplou questões relacionadas ao levantamento topográfico georreferenciado, determinando que este deve ser realizado de acordo com as normas técnicas para serviços topográficos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as normas técnicas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro.

De acordo com o Decreto Nº 9.310, os limites das unidades imobiliárias serão definidos por vértices georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, definido por suas coordenadas de latitude, longitude e altitudes geodésicas, e que o erro posicional resultante do vértice definidor do limite deverá ser igual ou inferior a oito centímetros. O levantamento topográfico georreferenciado deverá ser remetido eletronicamente pelo profissional legalmente habilitado ou pelo órgão público responsável ao SINTER.

Embora as normas referentes ao SINTER e ao Reurb sejam recentes, vários projetos de CT, onde são elaboradas bases cartográficas georreferenciadas referentes aos municípios, já foram e estão sendo executados. Estes, eram baseados nas normativas já existentes como as NBRs 13.133 e 14.166. No entanto, estas normas não definiam o valor de precisão a ser atendido no levantamento topográfico dos vértices definidores dos limites dos imóveis.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a precisão obtida no levantamento topográfico dos vértices definidores dos limites dos imóveis, através da propagação de erros, pela teoria de propagação de covariâncias, e comparar os valores obtidos com a precisão exigida pelo Decreto Nº 9310.

## 2. PROCESSO DE COLETA DE DADOS

Na elaboração da base cartográfica do município, primeiramente foi implementada uma rede de referência cadastral e posteriormente executado o levantamento topográfico, sendo descrito abaixo os procedimentos adotados.

### 2.1 Rede de Referência Cadastral

Para a implementação da rede de referência cadastral, procedeu-se um planejamento de posições estratégicas para a implementação dos marcos geodésicos, sendo que estes sempre foram posicionados aos pares. Para a escolha dos locais para a implementação dos marcos foram seguidos os seguintes critérios:

- Implantações em locais com terreno firme e estável;
- Evitar locais próximos a linhas de transmissão de alta tensão, árvores e coberturas, pois estes representam fontes de interferência para os sinais GNSS;
- Implantações em locais que permitissem as melhores visadas entre os pares de marcos, a fim de facilitar o levantamento topográfico.

Nos locais determinados foram coladas chapas de metal de aproximadamente 5 cm, conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Chapa para Identificação dos Marcos Geodésicos

Para a determinação das coordenadas de cada marco empregou-se o posicionamento por GNSS. Para o rastreamento da base foi utilizado um equipamento que possui as duas fases de onda portadora L1 e L2 com tempo de rastreamento superior a seis horas. O processamento foi realizado depois de quinze dias do rastreamento, utilizando assim efemérides precisas. Para o rastreamento dos marcos foi utilizado um receptor L1 e o rastreamento dos pontos teve duração sempre superior a 30 minutos. A distância entre todos os marcos e o ponto definido como base era inferior a cinco quilômetros.

Para cada marco geodésico da rede de referência cadastral foi feita uma monografia indicando a localização, tempo de rastreamento, equipamento utilizado, data do rastreamento, coordenadas elipsoidais, precisão das coordenadas elipsoidais e coordenadas UTM do marco. Na monografia consta também um croqui mostrando a localização e fotos do local onde o marco se encontra.

## 2.2 Topografia

Para o levantamento topográfico foi utilizado a metodologia clássica de levantamento planialtimétrico com o lançamento de poligonais básicas, do tipo 2 e 3 de acordo com a NBR 13.133, partindo-se de dois pontos e chegando-se em outros dois pontos da rede de referência cadastral do município, considerando as tolerâncias angulares, lineares planimétrica e altimétrica definidas na NBR 13.133. Além das poligonais básicas, foram lançadas poligonais percorrendo todos os logradouros, sendo estas entrelaçadas ou amarradas às poligonais básicas ou à rede de referência cadastral, considerando-se as mesmas tolerâncias.

O levantamento foi realizado utilizando a tecnologia digital com estações totais com precisão nominal igual a  $2 \text{ mm} + 2\text{ppm}$  e precisão angular igual a  $2''$ , consideradas de precisão alta de acordo com a NBR 13.133. Para todos os trechos de poligonais utilizou-se o controle de fechamento angular, linear considerando como limite de tolerância, o disposto na NBR 13.133 para poligonais tipo IIP, mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tolerâncias para os erros de fechamento das poligonais

Fechamento	Tolerância
Angular	$20''\sqrt{n}$
Linear	$0,42 \text{ cm} \sqrt{k}$

Onde: **n** é o número de ângulos da poligonal; e **k** o perímetro da poligonal em quilômetros.

Fonte: Adaptado da NBR 13.133

Foram cadastrados todos os elementos que compõem a infraestrutura das áreas urbanizadas, obtendo as correspondentes coordenadas planialtimétricas georreferenciadas, incluindo os vértices definidores dos limites dos imóveis.

## 3. AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

O ajustamento de observações busca a partir de uma pluralidade de observações, ou seja, de dados redundantes inexatos, extrair um resultado que seja único e que possa representar com maior confiança a grandeza medida, bem como a estimativa da precisão deste valor (GEMAEL et al., 2015).

No ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, o valor mais confiável para determinada grandeza é aquele que torna mínima a soma dos quadrados dos resíduos, ponderados pelos pesos das observações. Onde o resíduo é dado pela diferença entre o valor observado e uma estimativa para o valor real, na qual se possa confiar (GEMAEL et al., 2015).

Desta forma, tem-se que:

$$V^T P V = \min \quad (1)$$

Onde:

V = matriz dos resíduos

P = matriz peso, que pondera a confiabilidade de cada observação

As grandezas que não são obtidas diretamente, como coordenadas, altitudes e áreas, que são calculadas em funções de outras grandezas medidas diretamente, são denominadas parâmetros. No ajustamento destas grandezas, aplica-se o método chamado paramétrico, onde, na maioria dos casos, é possível elaborar uma equação para cada observação realizada em campo (GEMAEL et al., 2015).

De acordo com Gemael et al. (2015), pode-se considerar:

$$L_a = F(X_a) \quad (2)$$

Onde:

$L_a$  = Vetor das observações ajustadas

$X_a$  = Vetor dos parâmetros ajustados

$F(X_a)$  = Equações elaboradas a partir dos parâmetros e observações

No entanto, devido aos erros inerentes aos processos de medição, tem-se que:

$$L_a = L_b + V \quad (3)$$

Onde:

$L_b$  = Vetor das observações brutas

$V$  = Vetor dos resíduos

E os parâmetros ajustados são dados por:

$$X_a = X_o + X \quad (4)$$

Onde:

$X_o$  = Vetor de valores aproximados para os parâmetros

$X$  = Vetor de correções que converte os parâmetros aproximados ( $X_o$ ) em parâmetros ajustados ( $X_a$ )

Considerando  $L_a = F(X_a)$  e  $L_a = L_b + V$ , tem-se que:

$$F(X_a) = L_b + V \quad (5)$$

Linearizando  $F(X_a)$  pelo desenvolvimento de Taylor, tem-se:

$$F(X_a) = L_b + V = F(X_o + X) = F(X_o) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_o} X \quad (6)$$

Considerando:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_o} \quad (7)$$

Pode-se escrever:

$$L_b + V = L_o + AX \quad (8)$$

$$V = AX + L_o - L_b \quad (9)$$

Considerando  $L = L_o - L_b$ , tem-se:

$$V = AX + L \quad (10)$$

Aplicando o método dos mínimos quadrados, tem-se:

$$\phi = V^T P V = \min \quad (11)$$

$$\Phi = V^T P V = (A X + L)^T P (A X + L) = \min \quad (12)$$

$$\Phi = (X^T A^T + L^T) P (A X + L) = X^T A^T P A X + X^T A^T P L + L^T P A X + L^T P L = \min \quad (13)$$

$$\Phi = X^T A^T P A X + 2 X^T A^T P L + L^T P L = \min \quad (14)$$

Igualando a zero a primeira derivada em relação a X, chega-se em:

$$A^T P A X + A^T P L = 0 \quad (15)$$

Logo,

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad (16)$$

Desta forma é possível, encontrar o vetor de correções dos parâmetros (X) e consequentemente encontrar o vetor dos parâmetros ajustados (Xa). O ajustamento pelo método paramétrico é um processo iterativo, ao encontrar os parâmetros ajustados (Xa), avalia-se se algum dos valores de resíduos (V) ou de correção dos parâmetros (X) não satisfaz o limite de tolerância definido, neste caso, repete-se todo o processo considerando o valor aproximado dos parâmetros (Xo) ao valor dos parâmetros ajustados (Xa) encontrado.

#### 4. PROPAGAÇÃO DAS COVARIÂNCIAS

Uma grandeza obtida a partir de uma relação matemática de outras grandezas que possuem erros, também conterá erros. Desta forma os erros se propagam, sendo possível determinar a incerteza da grandeza obtida, através das incertezas das grandezas consideradas na relação matemática.

A Matriz Variância-Covariância (MVC), apresenta os valores de variância ( $\sigma^2$ ) e covariância ( $\sigma_{xy}$ ) das componentes de uma variável  $n$ -dimensional (GEMAEL et al., 2015). Ou seja, considerando um par de coordenadas X e Y de um ponto, a MVC dessas coordenadas será dada pela variância das coordenadas X e Y, e a covariância destas coordenadas, do seguinte modo:

$$MVC_{xy} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

A Lei de Propagação das Covariâncias permite determinar a incerteza de um parâmetro, a partir das observações necessárias para defini-lo. É mostrado por Gemael et al. (2015) que através da lei de propagação de covariâncias, a MVC de um parâmetro será dada por:

$$C_y = A C_x A^T \quad (18)$$

Onde:

$C_y$  = Matriz Variância-Covariância dos parâmetros

$A = \frac{\partial F}{\partial X_i}$ , ou seja, matriz das derivadas parciais das funções de cada parâmetro, em relação a cada

uma das observações

$C_x$  = Matriz Variância-Covariância das observações

### 3. METODOLOGIA

#### 2.1 Área de Estudo

A Figura 2, apresenta a área de estudo considerada, onde é mostrado as poligonais adotadas no levantamento topográfico, as poligonais que compuseram a amostragem de análise para este estudo e os marcos da rede de referência cadastral que possibilitaram o levantamento desta área.

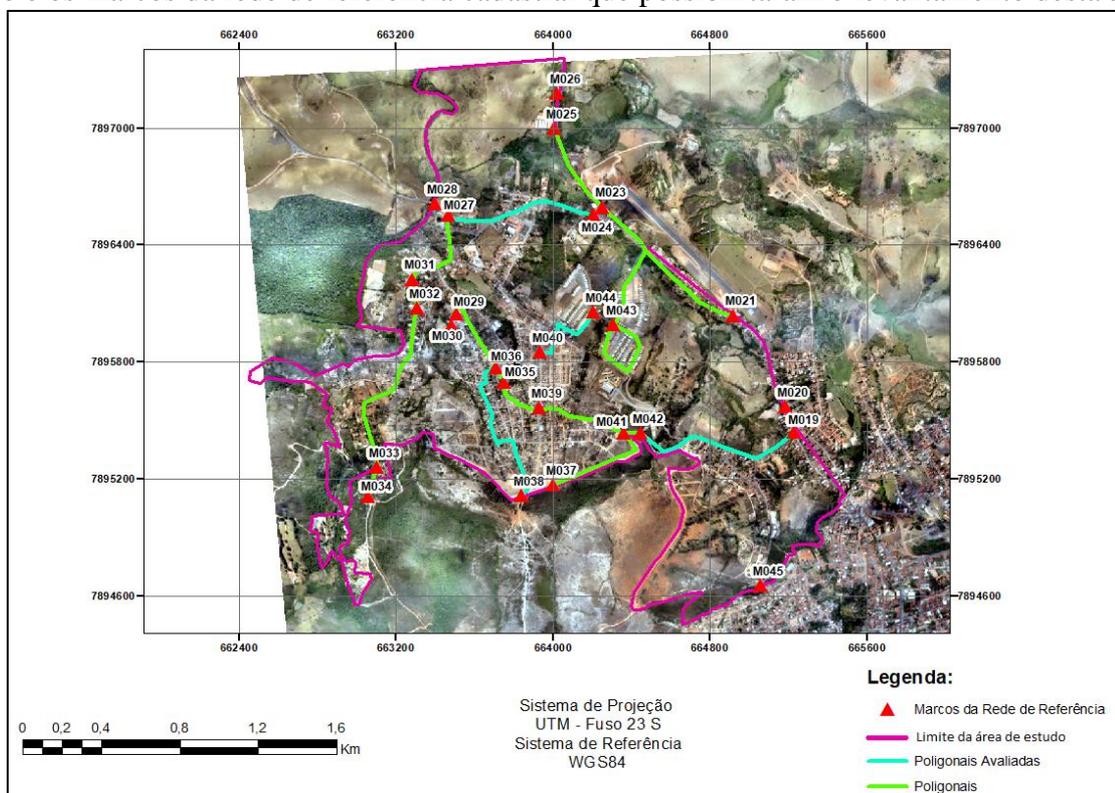


Figura 2 - Área de Estudo

#### 2.1 Metodologia Empregada

Primeiramente foi feito um estudo das poligonais adotadas no levantamento topográfico, com o objetivo de definir a amostragem que seria utilizada para este estudo. Foram escolhidas quatro poligonais, sendo estas as de maior perímetro e maior número de estações. Desta maneira, neste estudo foram considerados os casos de pior precisão, a fim de avaliar se, até mesmo, os piores casos, conseguem atender o limiar de precisão colocado no Decreto Nº 9.310. A Tabela 2, apresenta o perímetro, número de estações e a precisão dos marcos de saída e chegada, para cada

poligonal analisada.

Tabela 2 - Descrição das Poligonais Analisadas

Descrição	Nº de Estações	Perímetro (m)	Precisão dos Marcos (cm)			
			Marcos de Saída		Marcos de Chegada	
Poligonal 1	9	774.51	M20	M19	M42	M41
			3.0	4.3	3.7	3.4
Poligonal 2	11	777.14	M28	M27	M24	M23
			0.9	2.1	1.7	2.0
Poligonal 3	15	865.26	M37	M38	M36	M35
			2.1	4.3	1.1	1.2
Poligonal 4	9	486.75	M39	M40	M44	M43
			1.3	1.5	2.1	3.5

Aplicou-se o ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados para definir as coordenadas de cada uma das estações levantadas na poligonal e obter a Matriz Variância-Covariância, com as precisões destas coordenadas. No ajustamento foi considerado o método paramétrico supracitado. Os parâmetros a serem ajustados foram as coordenadas das estações e as observações foram as coordenadas dos pontos de apoio, ou seja dos marcos, as distâncias e os ângulos medidos. Sendo as funções dadas por:

$$X_i = X_{i-1} + DH \text{ sen } Az_{i-1,i} \quad (19)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + DH \text{ cos } Az_{i-1,i} \quad (20)$$

Onde:

X, Y = coordenadas da estação

i = estação em análise

DH = distância horizontal

Az = Azimute, sendo:

$$Az_{i-1,i} = Az_R + \alpha_i - 180^\circ \quad (21)$$

Onde:

$\alpha$  = ângulo horário

Az<sub>R</sub> = azimute de referência, dado por:

$$Az_R = \text{arc tg} \left( \frac{X_{M_{j+1}} - X_{M_j}}{Y_{M_{j+1}} - Y_{M_j}} \right) \quad (22)$$

Onde:

X, Y = coordenadas dos marcos de apoio

j = Marco de onde parte a poligonal

Como ponderação para a matriz peso foi considerado o inverso da Matriz Variância-Covariância das distâncias e ângulos e como critério de parada para o ajustamento considerou o limiar dos resíduos igual a 0.0001 mm ou no máximo 10 iterações. Nas incertezas dos pontos de apoio foram considerados os valores obtidos no processamento das coordenadas dos marcos, a partir do levantamento GNSS. E para as distâncias horizontais e ângulos horários, considerou-se a precisão nominal da estação, sendo 2 mm + 2 ppm para a distância horizontal e 2'' para os

ângulos, considerou-se também 3 mm para o erro de centragem da estação e 5 mm para o erro de centragem do prisma no alvo. Para os cálculos do ajustamento utilizou-se o programa Scilab Versão 6.0.1.

Para a avaliação da precisão nos vértices definidores dos limites dos imóveis, analisou-se alguns pontos irradiados. Para definir quais pontos seriam analisados, primeiramente partiu-se das estações de pior precisão em cada poligonal, e destas foram selecionados os pontos que possuíam maiores distâncias horizontais. Desta forma, continuou trabalhando com os piores casos, a fim de avaliar se até as precisões encontradas nestes casos são inferiores ao limiar descrito no Decreto Nº 9.310. A Tabela 3, descreve os pontos irradiados que foram analisados a partir de cada poligonal, apresentando a descrição, a distância horizontal e o ângulo horário medido em cada ponto.

Tabela 3 - Descrição dos pontos irradiados avaliados

Poligonal	Estação	Descrição	Distância (m)	Ângulo		
				o	'	“
Poligonal 1	19A1	359	115.572	191	13	41
		349	110.663	186	58	10
		352	110.009	186	24	47
		268	104.539	359	32	23
		267	102.348	0	5	23
Poligonal 2	27D	2	99.161	161	12	12
		3	94.509	160	51	3
		8	86.629	158	54	1
		94	61.427	317	47	6
Poligonal 3	38E	137	45.974	68	25	8
		148	38.711	152	54	54
		134	36.534	65	30	23
Poligonal 4	40A2D	86	238.14	224	5	14
		104	211.682	225	12	0
		77	198.559	226	18	42
		2	59.233	136	8	58

Para definir a precisão dos pontos irradiados, empregou-se o método de propagação de covariância. A determinação das coordenadas dos pontos irradiados é análoga a formulação apresentada para a obtenção das coordenadas das estações (Equações 18, 19, 20 e 21). Desta forma, na propagação de erros, foi necessário o conhecimento das precisões de cada estação, que foram definidas aplicando o método de ajustamento; a precisão das distâncias horizontais, definida como a precisão nominal da estação total, 2 mm + 2 ppm; a precisão angular, definida, também, como a precisão nominal da estação, 2”; o erro de centragem da estação, definido como 3 mm; e o erro de centragem do prisma no alvo, definido como 5 mm.

Conhecendo as incertezas de todas as observações necessárias para definição das coordenadas dos pontos irradiados, foi possível criar a MVC das observações e através da propagação de covariância, definir a MVC dos parâmetros. Desta forma, obteve-se a precisão de cada coordenada dos pontos irradiados, dada pelo valor de desvio padrão, ou seja, a raiz quadrada dos valores de variância. Para execução dos cálculos foi utilizado o software Scilab Versão 6.0.1.

De posse dos valores de precisão de cada coordenada, foi calculada a precisão resultante, e analisado em quais casos está atendida o colocado no Decreto N° 9.310. Que indica que a precisão para um vértice definidor do limite de um imóvel deve ser igual ou inferior a 8 centímetros.

Em casos onde a precisão encontrada superava a definida no Decreto N° 9.310, realizou-se uma análise, afim de averiguar a causa do elevado valor de desvio padrão. Nesta análise, foram variados os valores de precisão das estações e distâncias e observado o efeito promovido na precisão resultante do ponto irradiado. Os resultados encontrados são mostrados na seção seguinte.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados foram obtidas as coordenadas e precisões das estações levantadas nas poligonais. Na Figura 3 é mostrado as precisões encontradas para cada estação, estando destacadas as estações de pior precisão para cada poligonal.

Poligonal	Estação	$\sigma_x$ (cm)	$\sigma_y$ (cm)	$\sigma_{\text{resultante}}$ (cm)	
Poligonal 1	19A1	3,8	16,6	17,0	
	19B1	5,6	14,7	15,7	
	19C1	4,4	12,8	13,5	
	19D1	4,1	12,2	12,9	
	19 E1	4,1	11,9	12,6	
	19F1	4,5	11,5	12,4	
	19G1	4,8	11,4	12,4	
	M20	4,2	12,6	13,3	
	M19	1,5	19,5	19,5	
	M42	3,2	11,8	12,2	
	M41	2,1	13,4	13,6	
	Poligonal 2	27A	2,2	2,6	3,5
		27B	2,9	3,3	4,4
31CC		3,3	3,8	5,0	
27C		3,4	4,1	5,3	
27D		3,5	4,1	5,4	
27E		3,6	4,0	5,3	
40DD		3,4	3,7	5,0	
27F		3,1	3,0	4,3	
27G		2,6	2,1	3,4	
M28		0,9	1,4	1,6	
M27		1,1	2,0	2,3	
M24		1,8	2,0	2,7	
M23		1,7	2,3	2,9	
Poligonal 3	38A	4,5	6,7	8,1	
	38B	4,4	6,7	8,0	
	38C	4,7	6,7	8,2	
	38D	5,2	6,6	8,4	
	38E	5,3	6,5	8,4	
	38F	5,3	6,3	8,2	
	38G	5,3	6,3	8,2	
	38H	5,2	6,3	8,2	
	38I	4,9	5,7	7,6	
	38J	4,9	5,7	7,5	
	38K	4,3	5,6	7,1	
	38L	3,5	4,9	6,1	
	38M	3,2	4,7	5,6	
	M37	1,4	7,3	7,5	
	M38	4,1	6,7	7,9	
M36	1,8	3,8	4,2		
M35	1,8	4,1	4,4		
Poligonal 4	40A2	3,7	6,6	7,5	
	40A2B	4,4	6,8	8,1	
	40A2C	4,9	6,9	8,5	
	40A2D	5,3	7,4	9,1	
	40A2E	5,2	7,2	8,9	
	40A2F	5,2	7,0	8,7	
	40A2G	4,8	7,0	8,5	
	M39	2,1	6,5	6,8	
	M40	2,5	6,6	7,0	
	M44	4,7	7,1	8,5	
	M43	2,2	8,7	8,9	

Figura 3 - Precisões das Estações Ajustadas

Analisando a Figura 3, pode-se perceber que para as poligonais 1, 3 e 4, várias estações apresentaram precisão resultante superior ao limiar de 8 centímetros colocado no Decreto N°9.310.

E que as precisões dos marcos para estas poligonais depois do ajustamento também foram elevadas. Somente na poligonal 2, a estação de pior precisão foi inferior a 8 cm, sendo igual a 5,41 cm, e os marcos mantiverem boas precisões após o ajustamento.

Embora, a maioria dos resultados de precisão foram superiores ao limiar colocado, já na análise da precisão das estações, deu-se seguimento aos estudos, a fim de avaliar a precisão nos vértices definidores dos limites dos imóveis.

Na Tabela 4 é mostrado os valores de precisão para os pontos irradiados encontrados após a propagação de covariâncias.

Tabela 4 - Precisões dos pontos Irradiados

Poligonal	Ponto	Distância (m)	$\sigma_x$ (cm)	$\sigma_y$ (cm)	$\sigma_{\text{resultante}}$ (cm)
Poligonal 1	359	115,572	8,7	22,7	24,4
	349	110,663	9,4	21,9	23,8
	352	110,009	9,5	21,8	23,8
	268	104,539	10,5	20,7	23,2
	267	102,348	10,2	20,6	23,0
Poligonal 2	2	99,161	5,0	7,1	8,6
	3	94,509	4,9	6,8	8,4
	8	86,629	4,8	6,4	8,0
	94	61,427	4,9	4,8	6,9
Poligonal 3	137	45,974	8,1	7,4	11,0
	148	38,711	6,3	8,2	10,3
	134	36,534	7,1	7,2	10,1
Poligonal 4	86	238,14	72,1	53,1	89,5
	104	211,682	63,2	48,5	79,7
	77	198,559	58,4	46,7	74,8
	2	59,233	14,7	18,9	24,0

Analisando a Tabela 4, pode-se perceber que quanto maior a distância, pior a precisão encontrada. E que somente dois pontos da poligonal 2, apresentaram precisões menores que oito centímetros. Para os demais casos, os valores encontrados foram superiores ao limiar estabelecido no decreto N°9.310.

Com intuito de analisar o comportamento da precisão nos pontos irradiados, foram feitas variações nas precisões das estações e nos valores de distâncias. Na precisão das estações, começou-se pelo valor real, fornecido pelo ajustamento, e chegou-se ao melhor valor de precisão, considerando o desvio padrão igual a zero, desta forma, as coordenadas da estação estariam livres de erros. Foram variadas as precisões das estações da qual o ponto foi irradiado, e a da estação anterior, considerada no cálculo do azimute.

Em relação as distâncias, foram analisadas duas situações, aquela com a precisão real, obtida no ajustamento, e outra com o desvio padrão resultante igual a zero. Em cada caso, iniciou-

se com a distância real medida e foi varando até zero. Estas análises foram feitas somente com o ponto de pior precisão de cada poligonal.

Abaixo, são mostrados os gráficos referentes à variação das precisões nas estações e o resultado promovido na precisão no ponto irradiado.

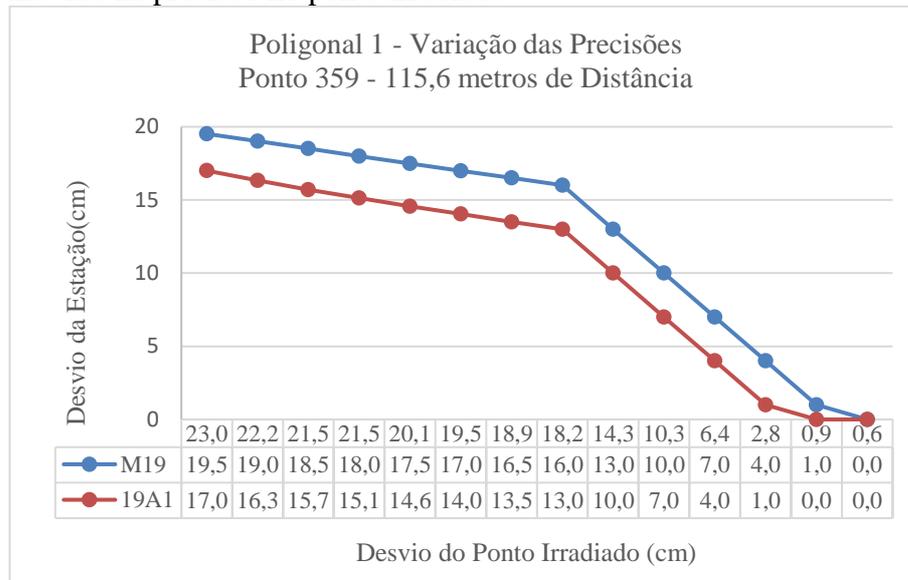


Gráfico 1 - Variação das Precisões, Poligonal 1

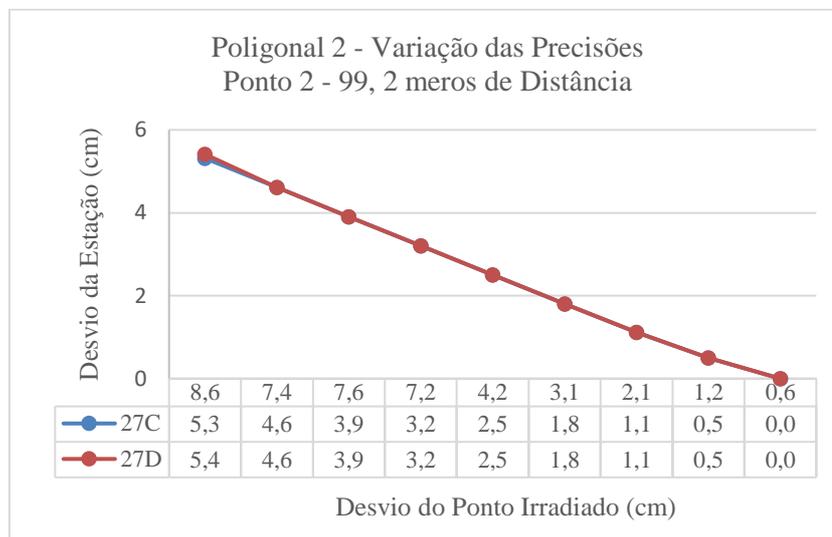


Gráfico 2 - Variação das Precisões, Poligonal 2

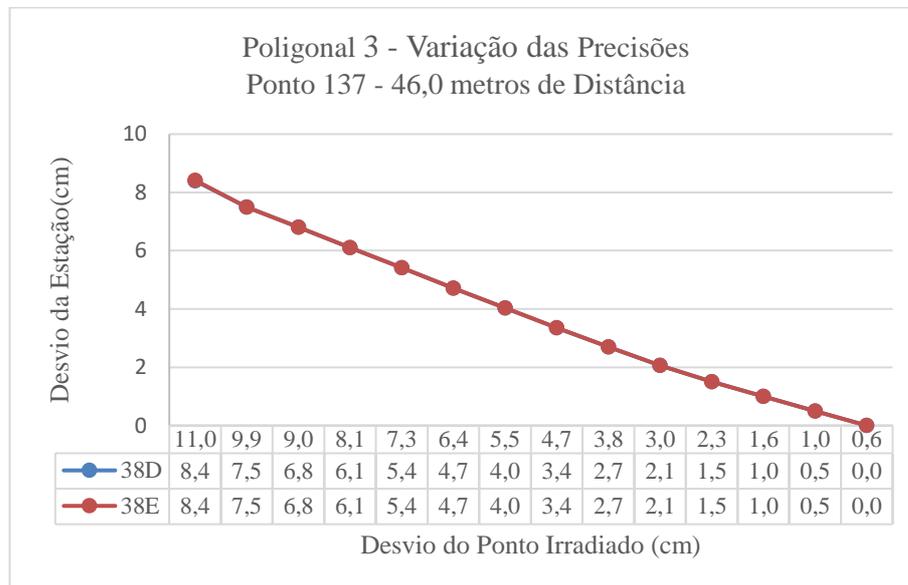


Gráfico 3 - Variação das Precisões, Poligonal 3

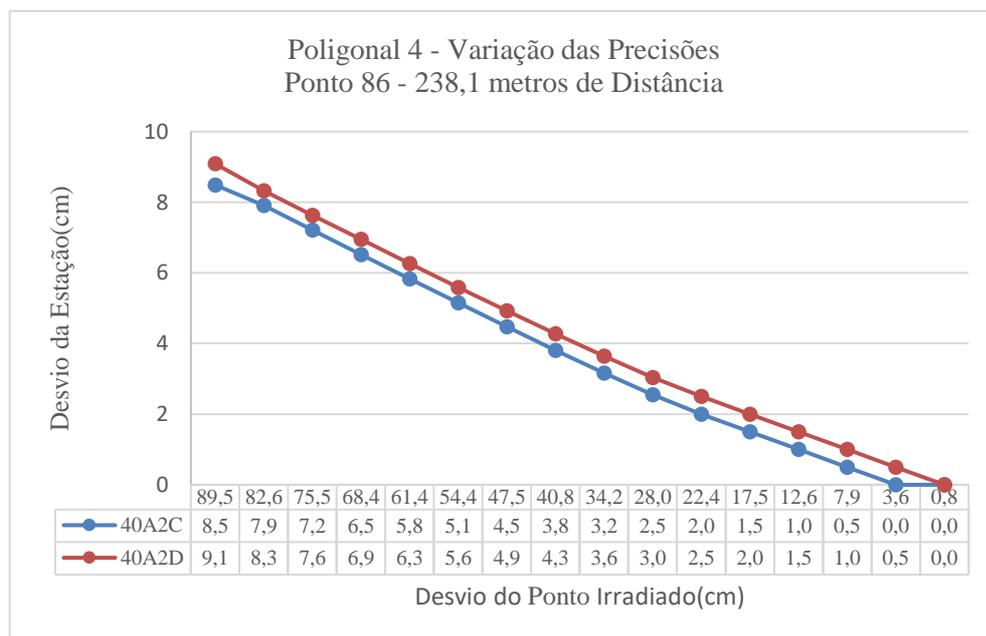


Gráfico 4 - Variação das Precisões, Poligonal 4

Avaliando os gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentados, pode-se perceber a alta influência da precisão nas estações sobre a precisão do ponto irradiado, quanto melhor a precisão das estações, melhor é a precisão do ponto irradiado. Nos pontos analisados nas três primeiras poligonais, onde as distâncias eram menores, ao considerar a precisão das estações próximas a cinco centímetros, já foi possível obter para os pontos irradiados precisão inferior a oito centímetros. Já para quarta poligonal, em que a distância do ponto irradiado foi superior a 200 metros, somente quando a precisão das estações se aproximaram de 1 cm, foi possível obter para o ponto irradiado precisão

inferior a 8 cm. Em todos os casos, ao zerar os desvios padrões das estações, a precisão dos pontos irradiados foi inferior a 1 centímetro.

Abaixo, são apresentados os gráficos contendo os resultados a partir da variação das distâncias, e a interferência desta variação nos valores de precisão dos pontos irradiados.

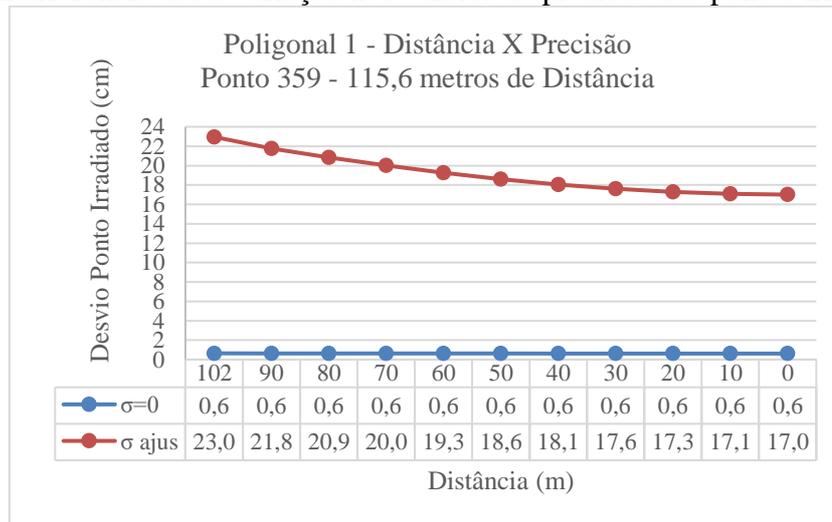


Gráfico 5 - Variação das Distâncias, Poligonal 1

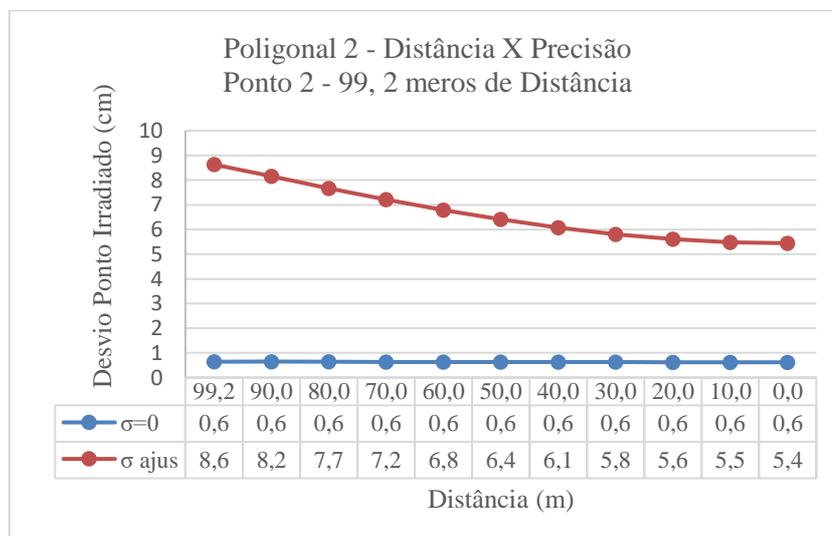


Gráfico 6 - Variação das Distâncias, Poligonal 2

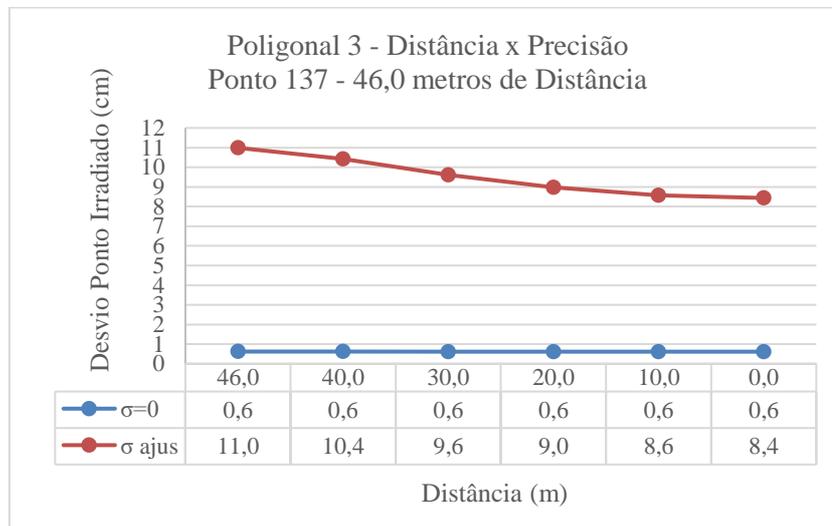


Gráfico 7 - Variação das Distâncias, Poligonal 3

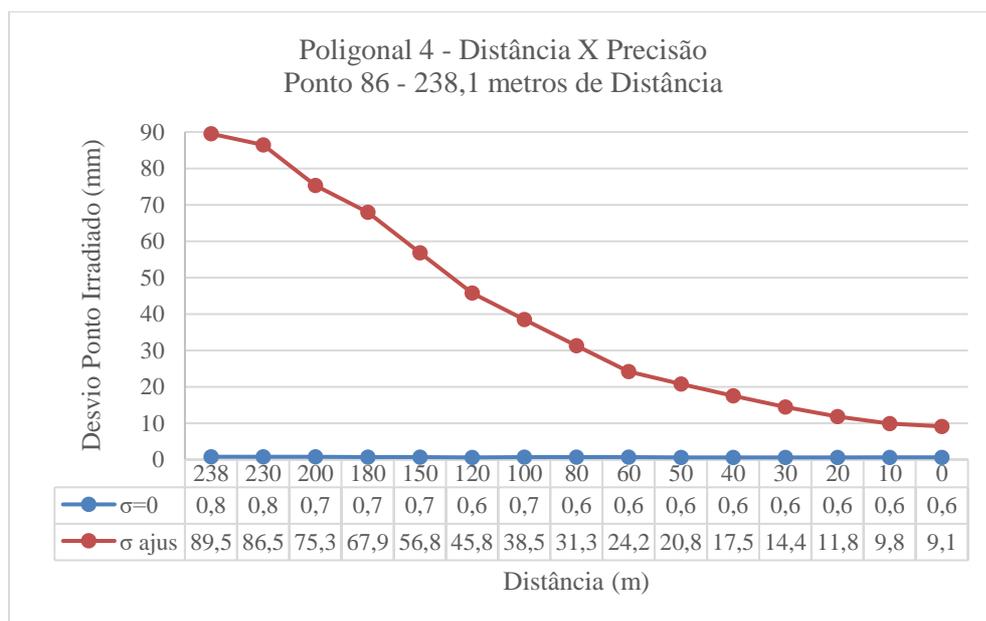


Gráfico 8 - Variação das Distâncias, Poligonal 4

Ao avaliar os gráficos 5, 6, 7 e 8 apresentados, pode-se perceber, que a variação das distâncias não promove alteração significativa na precisão do ponto irradiado. Em todos os casos, quando se considerou desvio nulo para as estações, a precisão dos pontos irradiados foi inferior a 1 cm. A variação desta precisão, conforme a variação das distâncias foi muito pequena, chegando a 0,6 cm, quando anulou-se também a distância. O que mostra, que o efeito na precisão de um ponto irradiado, a partir de uma estação total com precisão nominal de 2", considerando o erro de centragem da estação de 3mm e de centragem do alvo como 5 mm, é de 0,6 cm.

Considerando os valores de precisão dados pelo ajustamento efetuado, somente na poligonal 2, onde já se havia atendido o limiar colocado no Decreto N° 9.310, foi possível obter valores de precisão inferior a oito centímetros. Para os demais casos, mesmo considerando uma distância de irradiação igual a zero, não foi possível atender o colocado no Decreto N° 9.310.

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

Ao desenvolver este estudo, foi possível perceber, que mesmo seguindo o que é colocado na NBR 13.133 e NBR 14.166 ao realizar o levantamento topográfico dos vértices definidores dos limites dos imóveis, na maioria dos casos analisados, não foi possível atender o limiar de precisão definido pelo Decreto N° 9.310. Como o decreto é recente, ainda não foi divulgada uma norma relativa a ele, para esclarecer melhor quais instrumentos e métodos serão utilizados a fim de atingir a precisão exigida.

No entanto, nas análises efetuadas, foi possível perceber que a precisão atingida em um ponto irradiado, em caso particular, no vértice definidor do limite de um imóvel, é muito influenciada pela precisão das estações das poligonais. Desta forma, pode-se concluir, que para irradiar um ponto com melhor precisão, deve-se obter, primeiramente, poligonais com estações de alta precisão. Nos casos avaliados, para distâncias de irradiação próximas a 100 metros, considerando a precisão da estação próxima a cinco centímetros, conseguiu-se atender o limiar colocado. No entanto, para distâncias superiores, próximas a 200 metros, somente com precisões menores que um centímetro foi possível atender o limiar.

A precisão das estações depende da precisão das coordenadas dos marcos que constituem a rede de referência cadastral. Diante disso, pode-se sugerir que além de definir o valor de precisão máxima para os pontos irradiados, torna-se necessário definir também, a partir de estudos futuros, quais as precisões máximas podem ser atingidas ao se obter os marcos da rede de referência, e as estações da poligonal empregada no levantamento topográfico e qual a distância máxima pode-se encontrar um ponto a ser irradiado.

Diante dos resultados encontrados, a fim de atingir o valor de precisão igual a oito centímetros, exigido pelo Decreto N° 9.310, novos trabalhos estão sendo elaborados, com o intuito de melhorar e verificar a precisão dos marcos que constituem a rede de referência cadastral. Desta maneira, busca-se obter melhores valores de precisão para estes marcos e repetir a análise efetuada, para verificar se com estas novas precisões é possível obter a precisão nos pontos irradiados inferior ao limiar colocado.

Devido à grande urbanização, torna-se difícil em um projeto de cadastro territorial definir os vértices de fundo que delimitam um imóvel, através de levantamento topográfico, sendo empregado em alguns casos a utilização de ortofotos para tal aquisição. Desta forma, tem-se como sugestão para análises futuras a avaliação da precisão atingida na obtenção dos vértices definidores dos limites de imóveis através de ortofotos.

### **Agradecimentos**

Ao Grupo de Engenharia para a Gestão e Planejamento Territorial (GENTE) pelo fornecimento dos dados.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1996. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.166**: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 23 p

BRASIL. Decreto Nº 8.764, de 10 maio de 2016. **Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais**. Brasil, 2016.

BRASIL. Decreto Nº 9.310, de 15 de março de 2018. **Normas gerais e os procedimentos aplicáveis a Regularização Fundiária Urbana e procedimentos para avaliação e a alienação dos imóveis da União**. Brasil, 2018.

GEMAEL, C., MACHADO, A. M. L., WANDRESEN, R.; **Introdução ao Ajustamento de Observações**: aplicações geodésicas. Editora UFPR, 2. Ed. Curitiba, 2015. 430 p.

LOCH, C. et al. Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana – **Cap. Cadastro Técnico Multifinalitário, Instrumento de Política Fiscal e Urbana**. Rio de Janeiro, 2005. 144 p.

SANTOS, A. P., MEDEIROS, N. G., SANTOS, G. R., RODRIGUES, D. D. **Controle de Qualidade Posicional em Dados Espaciais Utilizando Feições Lineares**. Curitiba: Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, v. 21, nº 2, p. 233-250, abr-jun, 2015.