

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE MASSAS APLICADO À PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

Clauber Rogério da Costa<sup>1</sup>

Claudia Pereira Krueger<sup>2</sup>

Leticia Woss<sup>3</sup>

Kelvin William de Souza Siqueira<sup>4</sup>

1 - Universidade Federal do Paraná – Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura (clauber@ufpr.br).

2 - Universidade Federal do Paraná - Departamento de Geomática (cpkrueger@ufpr.br).

3 - Universidade Federal do Paraná - Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (leticiawoss@gmail.com).

4 - Universidade Federal do Paraná – Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura (Kelvin.siqueira12@gmail.com).

## ABSTRACT

This work presents a methodology for monitoring an urbanized area, where there are slow flows of land, evidenced by cracks in buildings and the inclined position of public lighting poles. The identification and classification of these displacements can be carried out by a geodetic method of high precision, which allows the detection of displacements of the points in the monitoring area. The method used in this work is the trilateration combined with the triangulation for determining the occupied point, in addition to irradiation that aims to determine the pair of target planimetric coordinates. The application of this method in the laboratory has shown to be satisfactory for the determination of displacements greater than 5 mm and can thus be applied in the study area where noted the slow flow earth.

Keywords: triangulation, trilateration, displacement, adjustment, irradiation.

## INTRODUÇÃO

A superfície da Terra é dinâmica e pode ser alterada por meio de fenômenos internos, pela movimentação de placas tectônicas e, ou externos devido à dinâmica atmosférica (AMARAL & GUTJAHR 2011). Neste trabalho será apresentada uma metodologia para o monitoramento de uma área urbanizada, onde ocorrem fluxos lentos de terra, evidenciados por meio de rachaduras em construções e do posicionamento inclinado de postes de

iluminação pública. A identificação e quantificação destes deslocamentos podem ser realizadas através de um método geodésico de alta precisão, como o apresentado e desenvolvido neste estudo, que servirá de subsídio para identificar vulnerabilidades no terreno e contribuir para o desenvolvimento do gerenciamento de riscos. O método combinado de trileração com triangulação será aplicado para determinar possíveis movimentos na área de estudo. Foram realizados testes em laboratório, utilizando um alvo e marcos de centragem forçada, com o intuito de definir a precisão visando determinar as coordenadas planimétricas de um alvo. Após o processamento dos dados desta primeira etapa e confirmada a metodologia desenvolvida, o experimento será aplicado no bairro Guabirota em Curitiba – PR, local onde o fenômeno foi observado.

## METODOLOGIA

Os testes para o desenvolvimento da metodologia em estudo foram realizados na área 01, situada ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH-UFPR), localizado no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (Figura 1).

**Área de Testes da Metodologia - Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH-UFPR)**

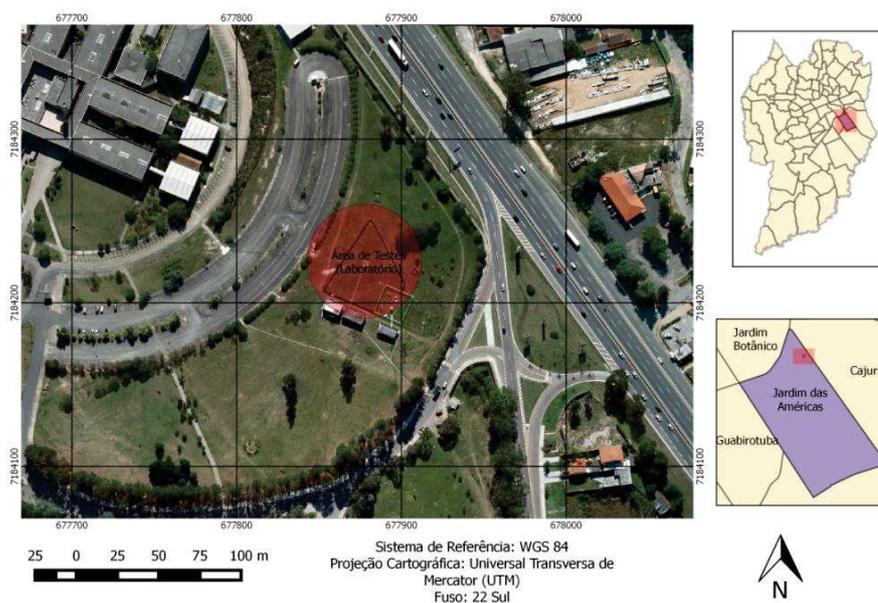


Figura 1. Área de estudo 01.

A área de estudo 02 está localizada no bairro do Guabirota, no município de Curitiba – PR, em uma região onde foi observado o fenômeno de movimentação do solo. Nesta região (Figura 2) será aplicada a metodologia testada em laboratório (Área 01).

### Localização dos Levantamentos de Campo

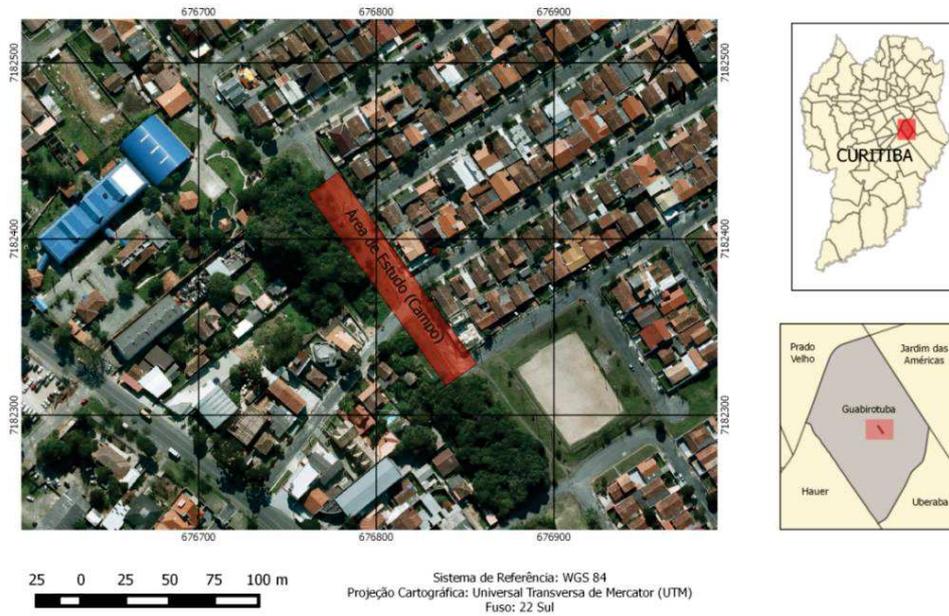


Figura 2. Área de estudo 02.

Na área de interesse para a aplicação da metodologia é observado várias rachaduras e trincas em residências e muros além da inclinação de postes de distribuição de energia e iluminação pública, como verificado na figura 3.



Figura 3: Deslocamentos observados na área 02.

O uso do método da estação itinerante em conjunto a triangulação trilateração e irradiação (Figura 4) possibilita o transporte das coordenadas precisas sem a necessidade da instalação de marcos próximo à área afetada pela movimentação.

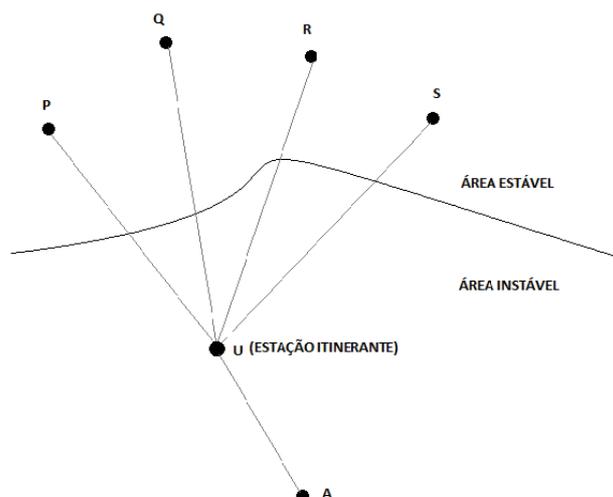


Figura 4. Método de trilateração combinado com triangulação e irradiação

Para realizar os testes da triangulação em conjunto com trilateração foram desenvolvidos quatro marcos de centragem forçada visando à fixação dos prismas topográficos denominados como P, Q, R, e S (Figura 4), estes marcos são feitos em aço carbono e foram fixados nos muros localizado nas imediações do LAGEH - UFPR.

O alvo foi confeccionado no programa Auto Cad, impresso em papel, plastificado e fixado em uma das paredes do LAGEH. O alvo é constituído por anéis com espessuras que variam entre 1, 2 e 5mm.

Nos marcos foram efetuados levantamentos GPS (*Global Position System*) por meio do método de posicionamento relativo estático com duração de 4 horas e 30 minutos com intervalo de gravação de 1 segundo com a finalidade de determinar suas coordenadas precisas.

Para realizar o levantamento optou-se pela utilização da estação Leica 1203 com precisão angular de 3" e 1mm + 1,5 ppm de precisão na determinação das distâncias. Durante os levantamentos realizados em dias distintos, a estação total foi instalada em diversos pontos aleatórios, respeitando apenas que todos os prismas instalados sobre os marcos de centragem forçada e o alvo fossem visíveis. Foram realizadas as observações de distâncias e ângulos em relação aos marcos de centragem forçada e a estação itinerante. Durante cada levantamento foram observadas quatro distancias, e três ângulos tendo quatro vértices conhecidos (P,Q,R e S) e um vértice com coordenada desconhecida no qual a estação estava instalada (U) (Figura 4). Após a trilateração, triangulação e a determinação das coordenadas planimétricas da estação (U) foi possível determinar as coordenadas horizontais do alvo (A) por meio do método de irradiação realizando visada de ré nos marcos de centragem forçada (P,Q,R e S), no qual os prismas estavam instalados, e de vante no alvo. Este procedimento

foi repetido por quatro vezes utilizando os quatro marcos de centragem forçada como ré obtendo quatro pares de coordenadas para o alvo.

Após os levantamentos, o programa Adjust foi utilizado para a calcular os pares de coordenadas da estação itinerante (U) por meio da combinação de triangulação e trilateração, como também o cálculo das coordenadas do alvo (A) por meio da irradiação. Primeiramente foram determinadas as coordenadas do ponto ocupado (U), para isto, foram inseridos os valores: número total de vértices (P, Q, R, S e U), número de vértices conhecidos (P,Q,R e S) e suas coordenadas, número de distâncias conhecidas (UP, UQ, UR e US) e seus valores, ângulos conhecidos (PUQ, QUR, RUS) e seus valores e a coordenada aproximada da estação (U). Após inseridos estes dados o programa retornava a coordenada ajustada do ponto ocupado (U).

Em seguida com as coordenadas ajustadas da estação ocupada (U) foram realizados os cálculos das coordenadas do alvo (A) por meio da irradiação, inserindo os seguintes valores no programa Adjust: número de vértices (P, U, A), número de vértices conhecidos e suas coordenadas (P e U), ângulo conhecido e seu valor (PUA), número de distancias conhecidas e seus valores (UP e UA) e o par de coordenadas aproximadas do alvo. Este procedimento foi repetido separadamente por quatro vezes para cada ocupação (levantamento) utilizando todos os vértices (P,Q,R e S) como ré.

## RESULTADOS

A tabela 1 apresenta a média utilizada como referência para o cálculo das discrepâncias além da mediana, moda e desvio padrão das coordenadas obtidas no levantamento.

**TABELA 1 MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL DAS COORDENADAS**

	X (m)	Y (m)
Média	866,7410	195,6668
Mediana	866,7407	195,6674
Moda	866,7389	195,6680
Desvio Padrão da População	0,0030	0,0019

Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se encontra no centro da distribuição e esta possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva (LOPES; CASTELO BRANCO; SOARES, 2013). Na tabela 2 são demonstradas as diferenças entre as medidas de tendência central.

**TABELA 2 DIFERENÇA ENTRE AS MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL**

	X (m)	Y (m)
Média – Mediana	0,0004	-0,0006
Média – Moda	0,0021	-0,0012
Moda – Mediana	0,0018	-0,0006

Na tabela 2, o resultado das diferenças obtidas apresentam pouca variação (abaixo de 2 mm) entre estes valores, podendo considerar que a distribuição das coordenadas obtidas é normal.

Na tabela 3 observam-se as discrepâncias nas direções X e Y, e a distância planimétrica dos pontos medidos no alvo em relação à média.

**TABELA 3 RESÍDUOS DAS COORDENADAS**

Resíduos obtidos					
$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	Distância (m)	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	Distância (m)
-0,0033	0,0015	0,0036	0,0046	-0,0017	0,0049
-0,0021	0,0012	0,0024	-0,0043	0,0009	0,0044
-0,0001	0,0008	0,0008	-0,0012	-0,0001	0,0012
0,0012	0,0005	0,0013	0,0011	-0,0009	0,0014
-0,0036	0,0023	0,0043	0,0027	-0,0014	0,0030
-0,0007	0,0013	0,0015	-0,0035	0,0022	0,0041
-0,0004	0,0007	0,0008	-0,0023	0,0015	0,0028
-0,0004	0,0007	0,0008	-0,0023	0,0015	0,0028
-0,0004	0,0007	0,0008	0,0010	0,0001	0,0010
-0,0037	0,0023	0,0044	0,0019	-0,0003	0,0019
-0,0008	0,0014	0,0016	-0,0030	0,0008	0,0031
-0,0003	0,0012	0,0012	-0,0021	0,0003	0,0021
-0,0003	0,0012	0,0012	0,0004	-0,0012	0,0013
-0,0020	0,0018	0,0027	0,0004	-0,0012	0,0013
0,0010	0,0003	0,0010	-0,0013	-0,0003	0,0014
0,0046	-0,0017	0,0049	0,0029	-0,0028	0,0040
0,0044	-0,0037	0,0057			

Por meio dos resíduos das coordenadas do alvo obtidas no levantamento (TABELA 3) foi possível verificar as discrepâncias destas coordenadas em relação a média, como demonstrado no gráfico apresentado na figura 1.

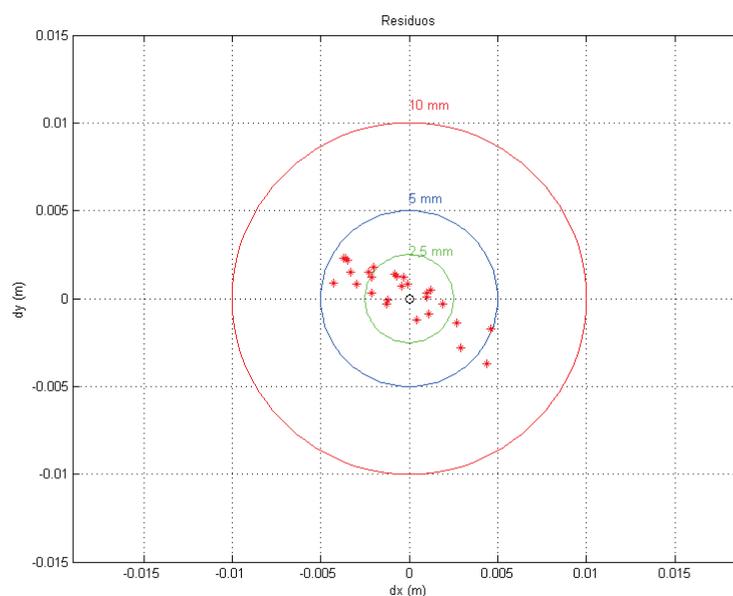


Figura 5. Gráfico dos resíduos das coordenadas obtidas em relação à média

O gráfico apresentado na figura 5, demonstra que grande parte das observações não obtiveram discrepância maior que 5 mm e que a tendência dos deslocamentos foi na direção X. Na tabela 4 observa-se que a média dos resíduos nas direções X e Y foram próximas à zero tendo um desvio planimétrico de 0,0014m com valores máximos de discrepância planimétrica de 0,0057m e mínimo de 0,0008m.

**TABELA 04 VALORES DA MÉDIA, DESVIO, MÁXIMO E MINIMO DOS RESÍDUOS**

Resíduos			
	X (m)	Y (m)	Distancia (m)
Média	-0,0003	0,0002	0,0025
Desvio	0,0024	0,0014	0,0014
Máximo	0,0046	0,0023	0,0057
Mínimo	-0,0043	-0,0037	0,0008

Na tabela 05 é observado que 100% dos pontos apresentam abaixo de 5 mm, e abaixo de 1mm tem-se 35%.

**TABELA 05 PORCENTAGEM DAS DISCREPANCIAS OBTIDAS**

Proporção da discrepância dos Resíduos obtidos nos levantamentos	Número de observações		Porcentagem
	Direção em X	Direção em Y	
Discrepâncias abaixo de			
5 mm	31	31	100%
4 mm	27	31	87%
3 mm	22	30	71%
2 mm	16	26	52%
1 mm	11	13	35%

Os pontos obtidos apresentam discrepância planimétrica menor que 6mm e 13% deles com deslocamento abaixo de 1mm, em 100% dos pontos, como verificado na tabela 6.

**TABELA 06 PORCENTAGEM DAS DISCREPANCIAS PLANIMÉTRICAS**

Discrepância Planimétrica		
Discrepância abaixo de	Observações	Porcentagem
6 mm	31	100%
5 mm	30	97%
4 mm	23	74%
3 mm	20	65%
2 mm	16	52%
1 mm	4	13%

## CONCLUSÕES

A aplicação deste método demonstrou ser satisfatória para a determinação de deslocamentos superiores a 5 mm, entretanto é necessário experiência e cuidado do operador durante os levantamentos. Houve certa dificuldade na execução das medições nos horários próximos ao meio dia, devido à alta incidência de luz que prejudicou a visualização dos prismas em razão da reverberação. Vale ressaltar que para a aplicação deste método, a região onde os marcos com coordenadas conhecidas são implantados não podem apresentar variações significativas no terreno durante o período de levantamentos, o que causa prejuízos na determinação dos posicionamentos do alvo. O número de observações deve ser abundante para que se possa ter segurança na determinação da coordenada final. Esta metodologia em conjunto com outros métodos, poderá ser aplicado para gerar maiores informações com relação ao terreno, como a direção de deslocamento e a velocidade, quando realizada uma série temporal de levantamentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R; GUTJAHR, M. R. Desastres Naturais. In: Série Cadernos de Educação Ambiental, volume 8. São Paulo: IG/SMA, 2011. 100 p.

LOPES, M. M., CASTELO BRANCO, V. T. V., SOARES, J. B., Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação.