

COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DE PONTOS UTILIZANDO DIFERENTES REFLETORES PARA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

Luisnei Martini ¹
Pedro Luis Faggion ²
Luís Augusto Koenig Veiga ²

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas CPGCG – l_martini@terra.com.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR – Departamento de Geomática – DGEOM – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG - faggion@ufpr.br; kngveiga@ufpr.br

RESUMO

Neste trabalho serão apresentados os procedimentos necessários para determinar as coordenadas de pontos utilizando diferentes refletores na determinação eletrônica de distância realizadas com estações totais. Foram verificadas a qualidade das distâncias obtidas, e qual o alcance que o medidor eletrônico de distância pode atingir quando empregados estes refletores no levantamento topográfico. Nos experimentos utilizaram-se as estações totais Leica TC2002 e a Elta S20, um prisma refletor de precisão GPH1P da Leica, um refletor em acrílico e um refletor em forma de fita adesiva. Os refletores em acrílico e em fita adesiva foram montados em um alvo topográfico. Os testes dos refletores foram realizados no corpo da barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, localizada no município de Capitão Leônidas Marques-PR.

Palavras-chave: Refletores para MED, Constante do Prisma, Cálculo de Coordenadas.

COMPARISON OF POINTS COORDINATES USING DIFFERENT REFLECTORS FOR ELECTRONIC DISTANCE MEASUREMENT

ABSTRACT

This work will show the procedures used to determine the coordinates of points using different reflectors in the Electronic Distance Measurement with the use of total station. Were verified the quality of the obtained distances, and the range that these equipments can reach when they use these reflectors in topographical surveying. In these experiments were used the total stations Leica TC2002 and Elta S20 Point, one precision Prism Reflector GPH1P from Leica, one acrylic reflector and a reflective tape. The acrylic reflectors and adhesive tape were mounted in the topographic target. The tests of reflectors were also realized in the field at the Salto Caxias Dam, located in the city of Capitão Leônidas Marques-PR.

Keywords: Reflectors for EDM, Prism Constant, Calculation of Coordinates.

1. INTRODUÇÃO

Buscando maior rigor na precisão e acurácia dos trabalhos realizados utilizando técnicas de Topografia e Geodésia, faz-se necessário a verificação, retificação, classificação, calibração de todo o instrumental utilizado na coleta e no processamento dos dados. Cada vez mais esta exigência aparece, como no caso dos métodos e processos de licitação os quais estão exigindo certificados que garantam a confiabilidade do instrumental. A contribuição deste estudo é na comparação de coordenadas determinadas utilizando diferentes tipos de refletores, tendo em vista a não existência de estudos sobre a confiabilidade da utilização dos refletores em acrílico e das fitas refletoras adesivas na medida eletrônica de distância. O padrão a ser utilizado no trabalho será o prisma de precisão GPH1P da Leica, por ser um refletor de canto e ter um padrão de repetibilidade melhor do que os outros refletores testados. Foi escolhido para a realização dos experimentos o corpo da barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, localizada no município de capitão Leônidas Marques-PR, onde existe um convênio de cooperação técnica e pesquisa entre a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), o Instituto de Pesquisa Para o Desenvolvimento (LACTEC) e

o Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG) da Universidade Federal do Paraná, além do apoio das empresas MANFRA Equipamentos Topográficos e da AVR Instrumental.

2. MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

Os equipamentos que permitem a obtenção da medida eletrônica de distância, utilizam ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda (visível, infravermelho, laser, microondas, etc.) para transportar o sinal de medida do emissor, em um extremo da linha a ser medida, até o refletor que se encontra no outro extremo, o qual devolverá o sinal para que o equipamento possa determinar a distância (figura 01).

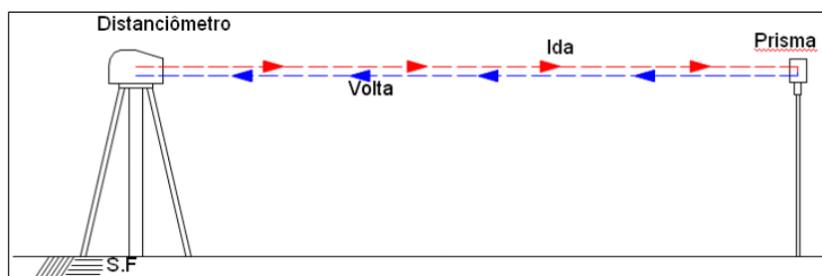


Figura 01 – Princípio da Medição Eletrônica de Distância
Fonte: FAGGION (2001)

2.1 – DEVOLUÇÃO DO SINAL DE MEDIDA

A devolução do sinal de medida pode ocorrer por reflexão total, especular ou por reflexão difusa. As fitas refletoras e os refletores em acrílico, tema deste trabalho, se encaixam no princípio da reflexão total.

Este prisma é concebido de tal forma que qualquer feixe de luz incidente sobre as suas superfícies, retorne na mesma direção (figura 02-A). Para que isso ocorra, estes são formados por três superfícies refletoras reproduzindo um canto de um cubo (figura 2-B). O sinal incide em cada superfície, retornando ao emissor paralelo ao sinal de origem. É possível perceber que o sinal retorna pela face oposta daquela em que o raio incidente atingiu o prisma, passando pelo centro do mesmo (figura 02-C). Estes prismas também podem ser chamados de refletores de canto.

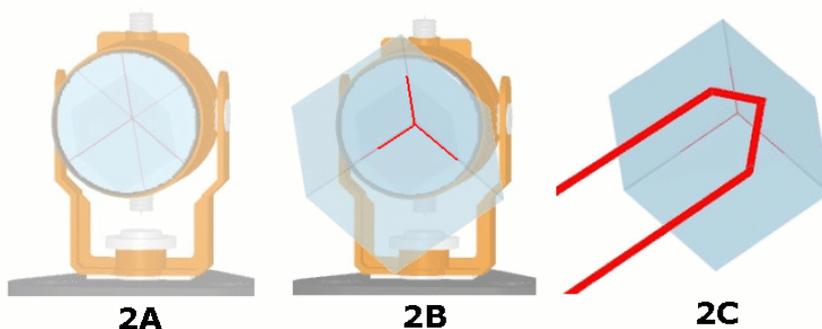


Figura 2-A – Exemplo de prisma; Figura 2-B – representação de um canto de cubo existente no prisma; Figura 2-C – Trajeto do raio incidente pelo prisma.
Fonte: Adaptada de SMITH (2004)

2.2 - CONSTANTE DO SISTEMA DE MEDIDA

Os refletores de canto usados com os instrumentos de Medição Eletrônica de Distância (MED) são umas das fontes de erros instrumentais. Como os raios de luz viajam em uma velocidade menor no vidro do que no ar, o “centro efetivo” do refletor está atrás do prisma (WOLF; GHILANI, 2002). Logo não coincide com a linha de prumo, produzindo então um erro sistemático nas distâncias, conhecido como constante de refletor (figura 03).

Isto ocorre porque o refletor é composto de faces mutuamente perpendiculares, e como a luz viaja numa distância total de $a + b + c = 2D$ (figura 04) no prisma, onde D é a distância entre o instrumento de MED e o refletor. Adicionalmente, como o índice de refração determinado para vidro é maior que ar, a velocidade de luz no prisma é obtida pela equação (01) criando uma distância efetiva de nD , onde n é o índice de refração do vidro (aproximadamente 1,517).

$$V = \frac{c}{n} \quad (01)$$

O centro efetivo então criado, é mostrado pela linha pontilhada na figura 03. A constante de refletor, K na figura, irá variar conforme o tipo do refletor. Outro fator que aparece na determinação da constante de medida de medida é a questão do erro de zero do equipamento.

O erro de zero é também chamado de constante aditiva e, consiste na diferença entre o centro geométrico do instrumento, materializado pelo sistema de eixos, e o centro eletrônico, emissor do sinal para a medição eletrônica da distância. Sua determinação é feita pelo fabricante e incorporada ao instrumento. A constante aditiva residual pode mudar com o tempo ou durante a realização de reparos do equipamento. Seu valor deve ser determinado periodicamente para que se possa realizar as correções nas medições (FAGGION, 2001).

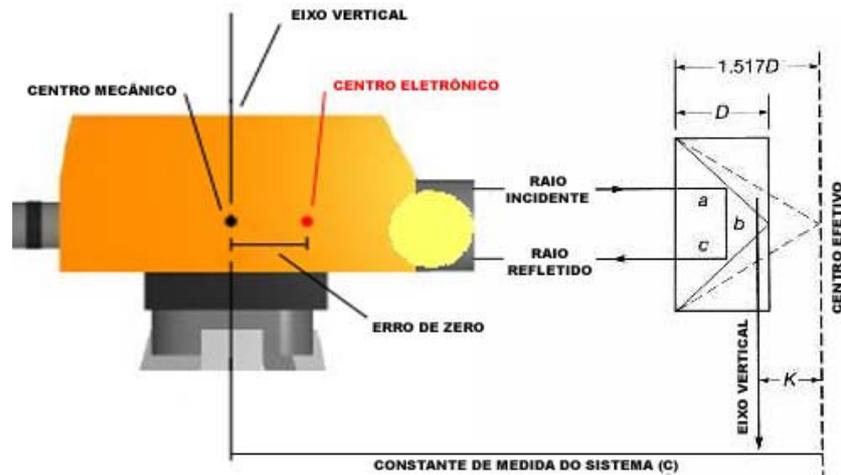


Figura 03 – Esquema do sistema, onde D é a profundidade do prisma, K é a constante do refletor e C a constante de medida do sistema (Equipamento de MED + Refletor).

Uma forma para determinar a constante do prisma consiste em ocupar uma base de calibração de medidores eletrônicos de distância, em que se conhece a distância entre os pilares (FAGGION, 2001). De uma maneira simples, basta ocupar três pontos em linha reta (A, B e D, na figura 04) com o refletor do qual se deseja o valor da constante.

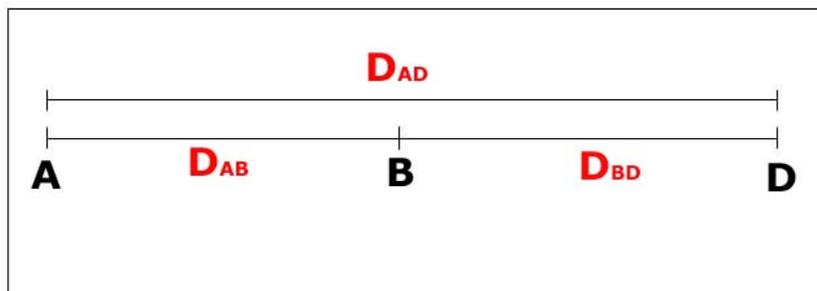


Figura 04 – Determinação do Erro de Zero

Estando os pontos A e C nos extremos desta linha e o ponto B entre estes extremos, medindo as distâncias entres estes pontos (AD, AB e DB) é possível chegar a seguinte equação (02):

$$AD + C = (AB + C) + (DB + C) \quad (02)$$

A partir da equação (02), pode-se chegar a equação (03):

$$C = AD - (AB + DB) \quad (03)$$

Sendo que (equação 04):

$$C = E + K \quad (04)$$

onde:

E é a constante relativa ao erro de zero do equipamento de MED;

K é a constante do prisma;

C é a constante de medida do sistema, e deve ser somada para corrigir as distâncias observadas.

3. EXPERIMENTOS REALIZADOS

3.1. RECURSOS UTILIZADOS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Estação Total Leica TC2002 (foto 01), que possui uma precisão angular de $\pm 0,5''$ e linear de $1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ (LEICA, 1994);
- Estação Total Elta S20 Point (foto 01), que possui uma precisão angular de $\pm 3''$ e linear de $3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$ (TRIMBLE ZEISS ELTA S20, 2001);
- Prisma de Precisão Leica GPH 1P (foto 02);
- Refletor em acrílico (foto 02);
- Fita Refletora Adesiva (foto 02).
- Psicômetro Digital e Barômetro.



Foto 01 - Estação total Leica TC2002 e Estação total Elta S20 Point

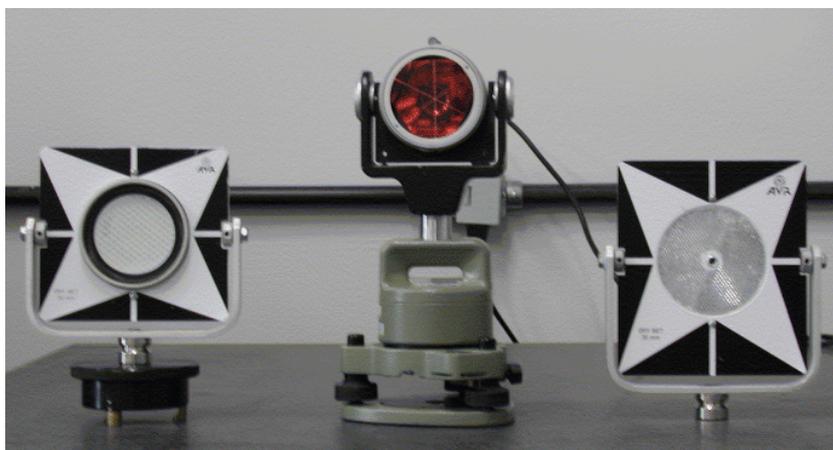


Foto 02 – Fita Refletora Adesiva, Prisma Refletor de Precisão e Refletor em Acrílico.

3.2 PROCEDIMENTO DE CAMPO

O trabalho de coleta dos dados foi realizado sobre o corpo da barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias. À jusante da barragem existe uma rede de monitoramento geodésico constituída de 6 pilares (foto 03) com centragem forçada, que mantém a posição do equipamento com uma precisão de 0,1 mm (NADAL, 2000). A partir dos pilares P1 e P3 desta rede, foram monitorados (obtenção de ângulos e distâncias) pontos de interesse sobre o corpo da barragem (foto 04), definidos pelos Engenheiros responsáveis pela segurança da mesma, utilizando os três tipos de refletores.



Foto 03 – Pilares que compõe a rede de monitoramento geodésico da barragem



Foto 04 – Localização dos pontos que foram monitorados ao longo do corpo da barragem

Nos pontos de interesse existem Dispositivos desenvolvidos para a Centragem Forçada para Alvos (DCFA) que foram engastados sobre a estrutura, permitindo assim a instalação de prismas refletores para a determinação das distâncias e das direções com as estações totais. Nesta fase do trabalho foram coletadas informações sobre 9 DCFA que já estavam instalados em pontos pré-estabelecidos.



Foto 05 – DCFA engastado no corpo da barragem

O processo utilizado para determinar as coordenadas dos pontos consistiu, na medida de um ângulo em relação a uma direção conhecida e da distância entre o ponto de apoio e o ponto observado (figura 05) trabalhando-se, portanto, com um esquema de coordenadas polares. Empregou-se os medidores eletrônicos de distância que empregam o laser como portadora, logo não necessitam de um prisma refletor, para distâncias curtas, e medidores tradicionais. Neste caso deve-se dispor de refletores posicionados na estrutura a ser monitorada.



Figura 05 - Processo de irradiação.

Com a estação total TC2002 instalada sobre o pilar P1, foi efetuada a pontaria para um alvo localizado sobre o pilar P3, a fim de se orientar o instrumento.

Com a instalação do prisma de precisão sobre o primeiro DCFA a ser medido (denominado de C1), efetuou-se três séries de medidas de ângulos e distâncias, fazendo a pontaria com cuidado, a fim de minimizar erro. Para cada medida de distância efetuada, foram coletadas informações ambientais (temperatura, pressão e umidade relativa) para que posteriormente as distâncias fossem corrigidas destes efeitos.

Concluídas as leituras sobre o prisma de precisão, o mesmo era substituído pelo refletor de acrílico, sem mexer na base. Com este refletor, realizou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. A seguir o refletor de acrílico foi substituído pelo refletor em forma de fita adesiva e o procedimento foi novamente realizado. Esta mesma metodologia foi repetida para os pontos C7, C14, P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

Na seqüência, foi efetuada a substituição da Estação Total TC2002 pela ELTA S20, repetindo toda a metodologia descrita acima.

A fim de obter uma comparação mais confiável nas coordenadas dos DCFA sobre a barragem, repetiu-se a operação com as duas Estações Totais sobre o pilar P3, realizando a orientação inicial a partir do pilar P1.

Na seqüência (agora em laboratório), utilizando a Estação Total ELTA S20 e os tripés industriais disponíveis no LAIG, determinou-se as constantes dos refletores de acrílico e de fita adesiva (foto 06). Utilizou-se como o padrão o prisma GPH1P (LEICA, 1994), que possui a constante 0 mm.

Os resultados preliminares são mostrados no quadro 01, a seguir:

Quadro 01 – Constante do Refletor

Tipo de Refletor	Constante do Refletor (mm)
Prisma de Precisão Leica GPH1P	0
Refletor em Acrílico	+ 23
Refletor em de Fita Adesiva	+ 28

O sinal positivo indica que é necessário adicionar a constante ao valor da distância medida.



FOTO 06 – Determinação das constantes dos refletores no corredor do bloco VI

3.3 – CORREÇÃO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

As distâncias foram então corrigidas do valor da constante do prisma, a seguir foi aplicada a correção em função dos parâmetros ambientais conforme a formulação fornecida pelo fabricante dos equipamentos (equações 04 e 05).

As variações nas condições meteorológicas causam um aumento ou diminuição na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas eletrônicas da distância (FAGGION, 2001).

$$\Delta D_1 = 281,8 - \left[\frac{0,29065 \cdot P}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right] \quad (04)$$

onde:

$\Delta D1$ e a correção atmosférica em ppm;

P é a pressão atmosférica (mb);

t é a temperatura ambiente (°C);

h é a umidade relativa (%);

α é uma constante que vale $\frac{1}{273,16}$;

$$X = \frac{7,5t}{237,3 + t} + 0,7857 \quad (05)$$

Agora com as distâncias corrigidas dos efeitos ambientais, é necessário realizar a transformação da distância inclinada para distância horizontal, utilizando a seguinte fórmula (equação 06):

$$DH = DI \cdot \text{sen } Ze \quad (06)$$

onde:

DI é a distância inclinada;

DH é a distância horizontal;

Ze é a distância zenital.

Finalmente, de posse das distâncias corrigidas e das médias dos ângulos medidos (ângulos horizontais e distâncias zenitais), realizou-se o cálculo das coordenadas dos pontos situados sobre a barragem utilizando como origem as coordenadas do pilar P3 (X = 0 m, Y = 0 m e Z = 0 m), e tendo como o azimute principal, a direção entre os pilares P3 e P1. Os resultados são apresentados no quadro 03. A coordenada Z foi calculada levando em conta a altura do instrumento e dos refletores.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os valores referentes a média das distâncias obtidas dos DCFA sobre o corpo da barragem estão apresentadas no quadro 02. Neste quadro, estão além da média das distâncias, a diferença dos valores das mesmas obtidas com o refletor em acrílico e em fita adesiva com relação a distância obtida empregando o prisma de precisão.

Quadro 02 – Valor médio das distâncias reduzidas ao horizonte obtidas dos DCFA sobre a barragem, utilizando como base o Pilar P3 e a estação total Zeiss Elta S20.

PONTO VISADO	TIPO REFLETOR	DISTÂNCIA (m)	DIFERENÇA (m)
C1	PRISMA	599,8286	0
	ACRÍLICO	—	—
	FITA	—	—
C7	PRISMA	491,1498	0
	ACRÍLICO	—	—
	FITA	—	—
C15	PRISMA	357,5927	0
	ACRÍLICO	357,5843	0,0084
	FITA	—	—
DCFA 1	PRISMA	355,3427	0
	ACRÍLICO	355,3353	0,0074
	FITA	—	—
DCFA 2	PRISMA	353,7707	0
	ACRÍLICO	353,7654	0,0053
	FITA	—	—
DCFA 3	PRISMA	278,8079	0
	ACRÍLICO	278,8032	0,0047
	FITA	278,7997	0,0082
DCFA 4	PRISMA	277,6132	0
	ACRÍLICO	277,6073	0,0059
	FITA	277,6079	0,0053

DCFA 5	PRISMA	251,9959	0
	ACRÍLICO	251,9933	0,0026
	FITA	251,9956	0,0003
DCFA 6	PRISMA	251,9783	0
	ACRÍLICO	251,9747	0,0036
	FITA	251,9776	0,0007

Os valores das coordenadas encontradas para os DCFA estão no quadro 03, estes valores são referentes apenas ao Pilar P3 e utilizando a estação total Zeiss Elta S20.

Pode-se observar que em alguns DCFA não existem valores referentes as diferenças de coordenadas utilizando o refletor em acrílico e em fita adesiva, nestes casos, não foi possível efetuar a medida da distância em função do alcance em que o ponto se encontrava que era maior do que o máximo possível de se medir com estes refletores.

Quadro 03 – Valores das coordenadas obtidas dos DCFA sobre a barragem, utilizando como base o Pilar P3 e a estação total Zeiss Elta S20.

PONTO VISADO	TIPO REFLETOR	DIFERENÇA DE COORDENADA		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
C1	PRISMA	253,2914	543,7259	63,4540
	ACRÍLICO	—	—	—
	FITA	—	—	—
C7	PRISMA	248,8129	423,4631	63,4645
	ACRÍLICO	—	—	—
	FITA	—	—	—
C15	PRISMA	248,6145	257,0287	63,4802
	ACRÍLICO	0,00563	0,00582	0,00216
	FITA	—	—	—
DCFA 1	PRISMA	255,9167	246,5166	63,1761
	ACRÍLICO	0,00504	0,00486	0,00130
	FITA	—	—	—
DCFA 2	PRISMA	255,8934	244,2797	63,1767
	ACRÍLICO	0,00359	0,00343	-0,00304
	FITA	—	—	—
DCFA 3	PRISMA	253,7959	115,4212	63,1892
	ACRÍLICO	0,00410	0,00186	0,00455
	FITA	0,00701	0,00319	0,00199
DCFA 4	PRISMA	253,7519	112,6013	63,1886
	ACRÍLICO	0,00411	0,00183	0,00189
	FITA	0,00344	0,00153	0,0006
DCFA 5	PRISMA	251,9718	3,5587	63,1941
	ACRÍLICO	0,00197	0,00003	0,00994
	FITA	-0,00053	-0,00001	0,00611
DCFA 6	PRISMA	251,9693	2,2391	63,1922
	ACRÍLICO	0,00290	0,00003	0,00558
	FITA	-0,00013	0	0,00605

Os valores referentes ao prisma de precisão são as coordenadas adotadas como padrão para os DCFA na barragem, os demais valores são as diferenças encontradas quando se utiliza o refletor em acrílico e o refletor em forma de fita adesiva. As diferenças encontradas entre os refletores podem ser atribuídas a diferença na medida da distância inclinada, pois os valores da distância obtidos com o refletor em acrílico e em fita são diferentes dos valores encontrados para a distância quando se utilizou o prisma de precisão.

Outra constatação foi quanto ao alcance de medida. Quando se utilizam refletores em acrílico e em fita adesiva, que possuem um alcance menor do que o do prisma (conforme verificou-se no quadro 02). Observou-se também, que o alcance máximo quando se utiliza o refletor em acrílico foi no ponto C15, que possui uma distância de aproximadamente 360 metros. Quanto ao refletor em forma de fita adesiva o alcance máximo foi de 280 metros no ponto DCFA 3. Isto pode-se atribuir à qualidade do sinal de medida que retorna para a estação total, pois quanto maior a distância a ser medida com os refletores alternativos, menor é a qualidade do sinal refletido, chegando a um alcance em que é impossível realizar a medida da distância.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se verificar que a aplicação dos refletores em acrílico e em fita adesiva, é restrito à distância em que se deseja realizar a medida, pois como constatado neste estudo, o objeto mais distante que foi medido com o refletor em acrílico estava a uma distância de aproximadamente 360 metros, e quando utilizando o refletor em forma de fita foi de aproximadamente 280 metros.

Em relação as coordenadas obtidas verificou-se que a variação máxima encontrada está na ordem de 1 cm. Baseado nestes resultados preliminares, recomenda-se o emprego destes prismas alternativos em monitoramentos onde a investigação dos deslocamentos sejam superiores a 1 cm.

Recomenda-se em trabalhos futuros, realizar mais testes com relação ao alcance de medida utilizando estes tipos de refletores, para se obter um resultado mais completo a respeito dos mesmos.

Uma outra recomendação é de que se realizem estudos referentes a dimensão dos refletores em forma de fita, verificando se com o aumento das dimensões do refletor se obtém um ganho no alcance da medida da distância.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOUBEK, A. (1974). **Levantamentos Eletrônicos**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 205 p.
- FAGGION, P. L.; DE FREITAS, S. R. C., (1996). **Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.:494-503.
- FAGGION, P. L., (2001). **Obtenção dos Elementos de Calibração e Certificação de Medidores Eletrônicos de Distância em Campo e Laboratório**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 130 p.
- HÖGLUND, R., LARGE, P. **Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer**. Trimble Integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, EUA. 2002.
- LEICA TC2002, Manual do Usuário. Heerbrunn, Suíça. 1994.
- NADAL, C. A. **Método da Interseção Óptica Tridimensional Aplicado à Engenharia de Precisão**. Tese apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 116p.
- RÜEGUER, J. M. (1996). **Electronic Distance Measurement**. 3^{ra} ed., Springer-Vela, Berlin. 266p.
- SMITH, J.; NASCARELLA, J. **Electronic Distance Measurement - Introduction**. Disponível em <<http://www.geom.unimelb.edu.au/kealyal/edms/edm-intro.html>>. Acesso em 11/05/2004.
- TRIMBLE ZEISS ELTA S20 POINT. **Manual do Usuário**. Ohio, Estados Unidos. 2001.
- WOLF, P. R.; GHILANI, C. D., **Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics**. 10^{ed.} Ed. Prentice-Hall, New Jersey. EUA. 2002.