

---

## POLIGONAÇÃO COM CENTRAGEM FORÇADA E SUA VERIFICAÇÃO PELO MÉTODO DA ESTAÇÃO DESCONHECIDA

ANA ITAMARA PAZ DE ARAÚJO

ANDRÉA DE SEIXAS

TÚLLIO AULLUS JO PEREIRA

DIOGO JOSE NUNES DA SILVA

TAREK TARCÍSIO FERREIRA QUINTELA FARAH

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

anaitapaz@hotmail.com, aseixas@ufpe.br, {aulluspereira, maildodiogo}@gmail.com

---

**RESUMO** – O conhecimento dos programas embutidos de uma Estação Total facilita seu manuseio e aumenta a produção dos trabalhos desenvolvidos em campo. Alguns problemas relacionados à definição do sistema de referência do aparelho de medição podem estar relacionados à má utilização dos programas da Estação Total ou, o não entendimento dos passos requeridos no procedimento de medição automática. Um problema deste tipo poderá repercutir, por exemplo, na má definição do objeto em estudo e não correlacionamento ou interligação entre os diversos sistemas de medição definidos pela Estação Total e utilizados em campo. Para testar o programa da estação desconhecida embutido em uma Estação Total, foi realizado um experimento durante a disciplina de Topografia 2, do Curso de Engenharia Cartográfica da UFPE. Neste serão confrontados os vértices de uma poligonal implantada e levantada através do método de poligonação com centragem forçada sem automação com os vértices obtidos pelo método automático da estação desconhecida e, com visada a pelo menos três pontos de referência. Neste contexto, serão abordados alguns conceitos básicos, para o entendimento do experimento e apresentados os resultados encontrados dos métodos aplicados. Este trabalho ajudará também na elaboração de um apoio didático que poderá ser utilizado durante as aulas de Topografia.

**ABSTRACT** – The knowledge of programs included in a Total Station facilitates in handling and increases the production of the work developed in the field. Some problems related in the definition of the reference system of the measuring instruments may be related to the misuse of programs of the Total Station or not understanding the required steps in the procedure of automatic measurement. A problem of this kind might reflect, for example, poor definition of the object under study and non-correlated or interconnection among the various measurement systems defined by the total station and employed in the field. To test the unknown station program included in a Total Station was conducted an experiment during the second course of Surveying, Engineering Course Mapping UFPE. In this experiment will be compared the vertices of a implemented polygon and surveyed by the method of forced centering to traverse without automation with vertices obtained by the automatic method of unknown station, with, at least, three reference points. In this context, it will be discussed some basic concepts for understanding of the experiment and presented the results of the applied methods. This paper will help during the elaboration of a didactic support that can be used during the classes of Topography.

---

### 1 INTRODUÇÃO

Para testar o programa embutido na Estação Total denominado de estação desconhecida foi implantado um triângulo próximo a um campo de pontos conhecidos e definidos durante a Disciplina de Topografia 1 (2011.1) do Curso de Engenharia Cartográfica da UFPE. Esse campo de pontos de referência permitiu que o método automático da estação desconhecida realizado pela Estação Total 3305 DR, empregado nas aulas práticas, pudesse pelo menos utilizar no mínimo 3 pontos de coordenadas conhecidas localizados próximas ao polígono em estudo. Com esse programa é

possível determinar automaticamente qualquer vértice topográfico ocupado pela Estação Total a partir da visada a pelo menos dois pontos de coordenadas conhecidas (FARAH, 2010a) e (FARAH e DE SEIXAS, 2010b).

Esse tipo de procedimento vem sendo utilizado nas aulas de Topografia, mostrando a possibilidade de controlar os métodos realizados em campo através dos métodos automáticos embutidos na Estação Total. Isso permite verificar, por exemplo, se o vértice foi corretamente determinado com os comandos automáticos da Estação Total.

O tempo gasto para se realizar este experimento foi de 4 horas com uma equipe de 4 pessoas durante a disciplina de Topografia 2 (2011.2) do Curso de Graduação acima citado.

Os métodos da poligonação com e sem centragem forçada são bastante utilizados durante as aulas práticas da Disciplina de Topografia. Assim os estudantes aprendem os dois tipos de procedimentos em campo comparando-os, quanto aos erros de fechamento angular e linear. Criando assim, uma sensibilidade para a escolha do procedimento, quando forem especificados parâmetros de resultados de medição nos projetos.

O método da poligonação com centragem forçada requer certos cuidados para que durante o procedimento de medição a base nivelante permaneça centrada e nivelada, mesmo depois da troca entre o sistema de prisma, acoplado ao adaptador base-prisma, e a alidade do equipamento de medição. Aconselha-se sempre verificar a centralização e a horizontalização do instrumento durante o procedimento de poligonação.

Este trabalho tem como objetivo apresentar inicialmente uma fundamentação teórica sobre o método da centragem forçada, o método da estação livre utilizado para georreferenciar à poligonal implantada e o método automático da “estação desconhecida” utilizado pela Estação Total. Em seguida será apresentada a metodologia utilizada durante os experimentos, assim como os resultados obtidos com os métodos empregados, comparando os mesmos. Este trabalho contribui com a abordagem de um procedimento de medição com o emprego da Estação Total, de forma a facilitar o seu manuseio durante as aulas práticas, permitindo ao estudante entender melhor a sua finalidade e os cuidados para a obtenção de um melhor resultado em campo, além de utilizar os métodos automáticos disponibilizados pela mesma.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Poligonação com centragem forçada

A aplicabilidade do método da poligonação é regulamentada pela norma NBR 13.133/94. Esta norma orienta a execução de levantamento topográfico. Em seu item 6.5.1, p.18, que trata do ajustamento de poligonais e o estabelecimento de tolerâncias para o seu fechamento considera três tipos de poligonais: poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto (tipo 1); poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo (tipo 2); e poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo (tipo 3).

Para se aprofundar no método da poligonação ver (JORDAN, 1944), (KAHMEN, 1997) e (ESPARTEL, 1980) e Erba et al. (2005). Neste experimento foi utilizada a poligonal fechada e apoiada em um vértice, ou seja, segundo a NBR 13.133/94 do tipo 1.

As Figuras 1 e 2 apresentam dois tipos de sistemas de encaixe entre a alidade do equipamento e o sistema base-prisma. Na Figura 1 tem-se um sistema de centragem forçada com um encaixe e conexão cilíndrica com a base nivelante (patente da Firma Zeiss).

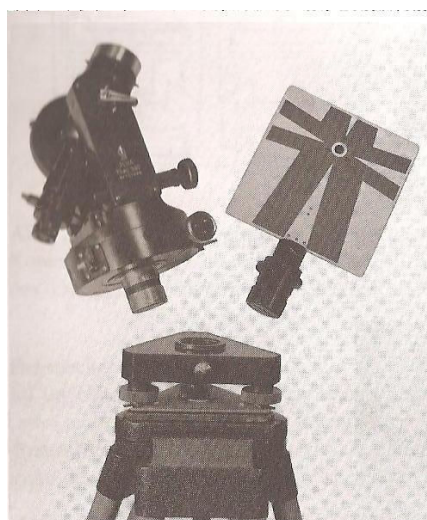


Figura 1: Componentes da Centragem forçada. Fabricante Zeiss. Fonte: KAHMEN (1997)

Na Figura 2 tem-se um sistema de centragem forçada com um encaixe e conexão em três orifícios (cavidades) com a base nivelante (patente da Firma antiga Wild atualmente Leica). Nesse experimento utilizou-se a Estação Total 3305 DR. O encaixe e conexão com a base nivelante realizada por esta Estação Total é semelhante à patente da Firma Zeiss apresentada na Figura 1.

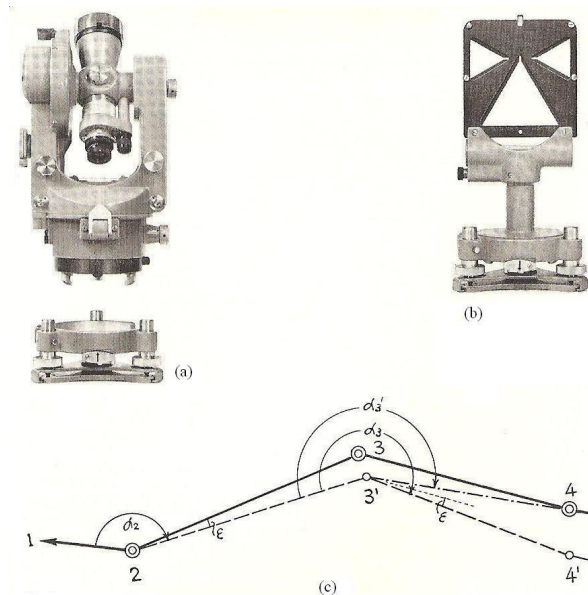


Figura 2: Componentes da Centragem forçada. Fabricante Leica Fonte: WILD HEERBRUG Ltda (1980).

Os diferentes tipos de centragem forçada podem ser vistos em (KAHMEN, 1997). Segundo este autor a centragem forçada garante uma centragem, a qual não deve se modificar durante o procedimento de medição, de modo que durante as medições de poligonização, o taqueômetro ou Estação Total, distanciômetros, prismas e sinalizadores de alvos possam ser trocados um com o outro. O tripé centrado permanece fixo sobre o vértice topográfico até que as medições sejam finalizadas, garantindo uma precisão de centragem de 0,03 a 0,1mm.

Para a realização da centragem forçada em campo a composição mínima de equipamentos e acessórios são a seguinte: três tripés, um instrumento de medição, dois prismas, duas bases nivelantes e dois adaptadores base-prisma. Isto permite, por exemplo, que um triângulo, caso deste experimento, seja materializado com três tripés de uma vez só. Sem precisar fazer um planejamento para verificar os deslocamentos dos materiais ao longo de uma poligonal, caso mais comum, quando o número de vértices é maior do que três.

A Figura 2 mostra como um erro angular  $\epsilon$  cometido no vértice 2 poderá se propagar para um vértice 3' com o ângulo horizontal  $\alpha_3$ , onde não é utilizado o procedimento de centragem forçada, e como essa mesma grandeza de erro poderá no vértice 3' repercutir no erro posicional em um vértice 4'. Caso seja utilizado o procedimento de centragem forçada com tripés nos vértices 2, 3 e 4 ao mesmo tempo, durante a medição no vértice 3 é possível diminuir o erro angular e medir o ângulo horizontal correspondente na Figura 2 ao ângulo  $\alpha_{3'}$ , trazendo o lado da poligonal corretamente de volta para o vértice topográfico 4 (WILD HEERBRUG Ltda, 1980). Só para exemplificar, uma medição angular de 1 segundo a uma distância de 100m corresponde a uma distância transversal de 0,5mm.

Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e Estação Total e aplicadas em levantamentos cadastrais foram abordados em (GAMA, 2008). Nessa mesma pesquisa foi utilizado o procedimento da poligonização com centragem forçada.

## 2.2 Método da estação livre

O método da estação livre é empregado quando se deseja determinar as coordenadas do vértice topográfico sob o qual uma Estação Total ou taqueômetro eletrônico está instalado. Para isso é necessário que sejam medidos dois pontos de coordenadas conhecidas. A formulação matemática desse método está descrita em (ERBA et al., 2005).

A Figura 3 apresenta os elementos geométricos dados (as coordenadas dos pontos topográficos B e E), medidos em campo (o ângulo  $\beta$  e a distância reduzida ao horizonte DEA obtida através da distância inclinada medida e do ângulo vertical medido) e os elementos procurados (as coordenadas planimétricas do ponto topográfico A).

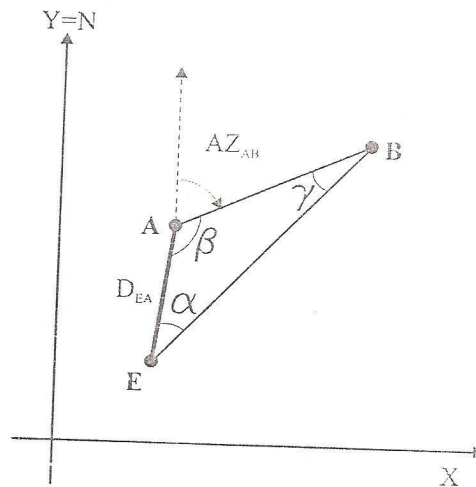


Figura 3 – Método da Estação Livre. Fonte: ERBA et al. (2005).

Para se aprofundar no método da estação livre ver (JORDAN, 1944) e (KAHMEN, 1997).

### 2.3 Método da estação desconhecida

Da mesma forma como no método da estação livre apresentada na subseção anterior, o método da estação desconhecida (Figura 4) utilizado pela Estação Total 3305 DR é empregado quando não é possível ocupar um vértice topográfico de coordenadas conhecidas. De outro modo este método é realizado em campo para poder logo em seguida realizar os métodos de levantamentos e/ou de locação. Pois a realização do método da estação desconhecida além de fornecer as coordenadas do vértice topográfico também determina a orientação do limbo horizontal ( $O_m$ ) e o fator de escala ( $m$ ). O fator de escala relaciona a distância medida com a Estação Total aos pontos de coordenadas conhecidas e a distância entre os pontos de coordenadas conhecidas (relação entre a distância medida e a distância calculada) (TRIMBLE, 2004).

O termo estação contido na denominação do método, representa a localização do vértice topográfico, sob o qual a Estação Total foi instalada. Do ponto de vista de cálculo das compensações, o método descrito na subseção 2.2 é sem ajustamento, enquanto que o método descrito nesta subseção possui medições abundantes. Por isso possibilita o ajustamento das medições. O método da estação desconhecida realizado pela Estação Total é também conhecido como método da Estação Livre.

Se todos os pontos de coordenadas conhecidas utilizados nesse método, forem fornecidos em 3D, então, também é possível se determinar, com o programa embutido na Estação Total, às coordenadas 3D do vértice. O programa exige que sejam medidos no mínimo dois pontos e no máximo cinco pontos (FARAH, 2010a). Além disso, todas as medições realizadas são medições angulares combinadas com medições lineares. O que significa dizer que todo o feixe a LASER enviado pela Estação Total deve voltar para a mesma. Ou seja, todos os pontos devem permitir medições angulares e lineares.

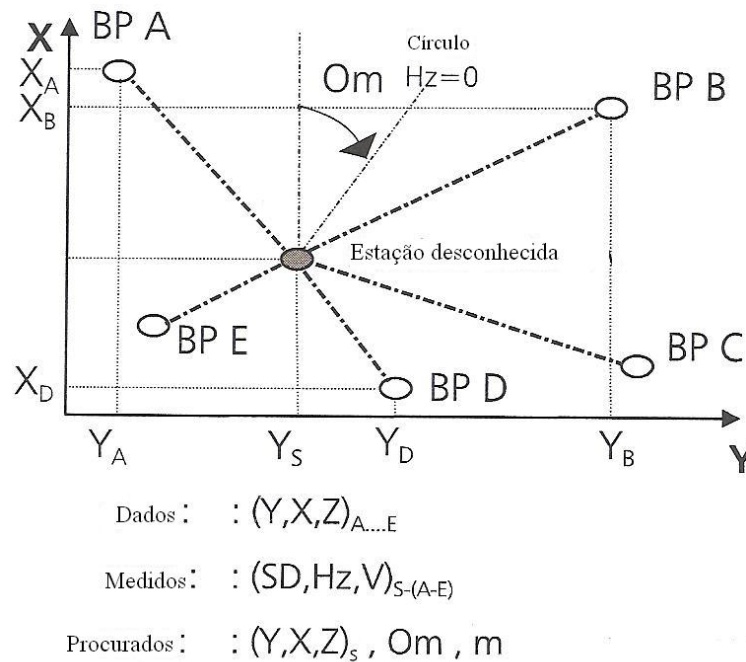


Figura 4 – Método da Estação Desconhecida. Fonte: TRIMBLE (2004).

### 3 METODOLOGIA

A seguir será apresentada a metodologia utilizada durante os experimentos.

#### 3.1 Materiais

Para esse experimento, como foram realizados diferentes métodos em campo, foi empregado: duas Estações Totais 3305 DR, quatro tripés, dois prismas e dois adaptadores base-prisma. As duas Estações Totais foram utilizadas da seguinte maneira: uma para agilizar na centralização e horizontalização das bases nivelantes, para a centragem forçada, e a outra foi utilizada para a aquisição dos dados. Quanto aos tripés: três para a poligonal implantada e um tripé foi instalado em campo para o início do procedimento de orientação da poligonal, neste experimento, utilizando-se o método da estação livre. O procedimento de orientação procedeu-se depois da finalização da poligonação com centragem forçada.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Poligonação com centragem forçada

A Figura 5 representa um esboço do campo de pontos de referência (Latop1 e 2) e do polígono A, B, C levantado em campo. As coordenadas UTM SAD-69 dos vértices Latop1 e 2 são respectivamente (Este: 284619,591m; Norte: 9109120,243m) e (Este:284618,944m; Norte: 9109107,690m).

As observações das direções Hz, dos ângulos V e das distâncias inclinadas foram realizadas nas duas posições da luneta (PD e PI). As distâncias horizontais dAB, dBC e dCA representadas na Figura 5 foram calculadas a partir das observações realizadas. O método teve início no vértice B, pois na finalização do procedimento de campo da poligonação com centragem forçada a Estação Total estaria ocupando o vértice A. Dando assim, sequência para a orientação da poligonal através do método da estação livre, descrita na subseção a seguir.

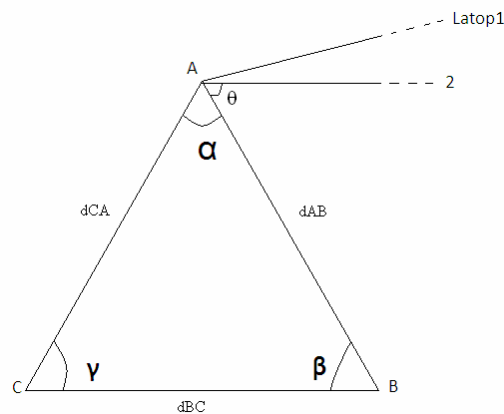


Figura 5 – Configuração geométrica do campo de pontos do experimento.

Ressalta-se que o comprimento dos alinhamentos observados neste experimento não ultrapassa o valor de 35m. Desta forma, a utilização de coordenadas UTM não prejudicará o transporte de coordenadas realizado neste trabalho.

### 3.2.2 Estação livre

O método da estação livre utilizou também a centragem forçada. A partir da Estação A foram observadas as direções Hz, os ângulos  $\gamma$  e as distâncias inclinadas aos vértices 2 e 1, em duas posições da luneta (PD e PI) e duas vezes. A partir da média desses dados foram calculadas as coordenadas do vértice A pelo método da estação livre (subseção 2.2). A Figura 6 mostra um esboço da configuração geométrica deste método aplicado em campo. O ângulo  $\alpha'$  foi obtido das observações; os ângulos  $t$  e  $w$  foram calculados a partir da lei dos senos; e a distância horizontal  $dA1$  foi calculada a partir das observações realizadas. As coordenadas UTM SAD-69 do vértice 1 são (Este: 284601,328m; Norte: 9109101,946m)

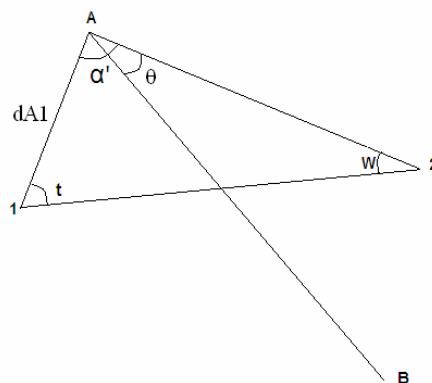


Figura 6 – Configuração do campo de pontos para a orientação da poligonal.

### 3.2.3 Vértice desconhecido

Este método foi realizado em campo em cada vértice do polígono A, B, C implantado. Também utilizou-se a centragem forçada para a instalação do equipamento e acessórios utilizados. A partir dos comandos automáticos embutidos na Estação Total 3305 DR foi possível determinar as coordenadas do vértice A a partir dos vértices Latop1, 2 e 1. Em seguida a Estação Total foi colocada no vértice B, cujas coordenadas foram determinadas a partir dos vértices 1, 2 e Latop1. E finalmente a Estação Total foi colocada no vértice C, cujas coordenadas foram determinadas a partir dos vértices 1, Latop1 e 2. A Figura 7 apresenta um esboço e a seqüência (I, II, III) da realização do método da estação desconhecida em campo.

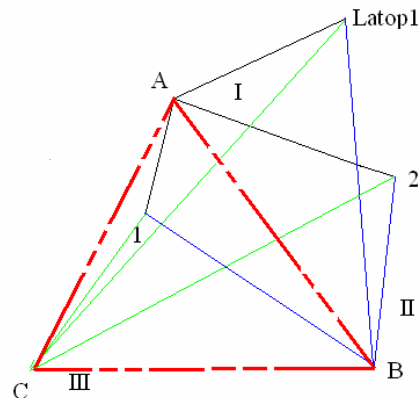


Figura 7 – Configuração do campo de pontos para o procedimento do método automático da estação desconhecida.

A poligonal está representada por um polígono em cor vermelha. As sequências I (preta), II (azul) e III (verde) estão representadas pelos alinhamentos e respectivos vértices da poligonal e vértices de coordenadas conhecidas, conforme descrito anteriormente.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estação livre

As coordenadas UTM SAD-69 do vértice A obtidas através dos cálculos a partir do transporte de coordenadas do vértice 2 e do vértice 1 utilizando à média foram (Este: 284601,2287m; Norte: 9109111,8899m).

### 4.2 Poligonação com centragem forçada

A Tabela 1 abaixo apresenta a planilha de poligonação e as coordenadas finais dos vértices A, B e C levantados e calculados pela planilha tradicional do método da poligonação.

Tabela 1 – Planilha de poligonação.

ESTAÇÃO	PONTO VISADO	ÂNGULO Hz	ÂNGULO Hz C.	AZIMUTE	DHz (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
A							
A	B	41°41'53"	41°41'47"	163°46'29,09"	34,9644	9,769554	-33,57179
B	C	64°04'5,5"	64°04'00"	279°42'29,09"	24,1606	-23,814613	4,074163
C	A	74°14'18,5"	74°14'13"	25°28'16,09"	32,6745	14,051876	29,498606
$\Sigma$		180°00'17"	180°00'00"		91,7995m	0,0068	0,0010

Tabela 1 – Continuação da Tabela.

$C\Delta E$ (m)	$C\Delta N$ (m)	$\Delta E_c$ (m)	$\Delta N_c$ (m)	E (m)	N (m)
				284601,2287	9109111,8899
-0,002596	-0,000373	9,766958	-33,572163	284610,9956	9109078,3177
-0,001794	-0,000258	-23,816407	4,073905	284587,1792	9109082,3916
-0,002426	-0,000348	14,04945	29,498258	284601,2287	9109111,8899
		0,000001m	0		

Neste experimento obteve-se como resultado para o erro linear da poligonal um valor de  $7,071 \times 10^{-3}$  m. Com um perímetro de 91,7995m obteve-se para a precisão relativa um valor de 1/12982,4094. O erro angular da poligonal implantada foi de  $17''$ , o qual foi corrigido usando a distribuição por igualdade.

#### 4.3 Comparação entre a Poligonação com centragem forçada e o método da estação desconhecida

A partir das coordenadas obtidas através desses dois métodos calcularam-se as discrepâncias entre as coordenadas UTM SAD-69 Este e Norte. A maior discrepância foi obtida no vértice C entre as coordenadas Estes.

Tabela 2 – Discrepâncias entre as coordenadas UTM SAD-69 Este e Norte do método da poligonação e do método automático da estação desconhecida.

Vértices	Método da Poligonação		Método da Estação Livre		Discrepâncias	
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
A	284601,229	9109111,890	284601,229	9109111,885	-0,0003	0,0049
B	284610,996	9109078,318	284611,013	9109078,327	-0,0174	-0,0093
C	284587,179	9109082,392	284587,210	9109082,387	-0,0308	0,0046

Na Tabela 2, comparando o método da poligonação e o método da estação desconhecida, ambos com centragem forçada, observa-se que nos vértices B e C ocorreram maiores discrepâncias com respeito às coordenadas Este. No ponto B obteve-se o valor de - 0,0174m e no vértice C obteve-se o valor - 0,0308m. Esses valores foram acima do esperado. Uma explicação para esse acontecimento pode ter sido no instante da aquisição dos dados em campo, quando da aplicação do método da estação desconhecida. Enquanto que o tripé e base nivelante sempre esteve posicionados no vértice A desde o início dos experimentos, isso já não ocorreu nos vértices B e C. Nestes vértices, o tripé, base nivelante e a Estação Total tiveram que ser novamente instalados.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma fundamentação teórica sobre o método da centragem forçada; sobre o método da estação livre, utilizado neste experimento para georreferenciar à poligonal em estudo e sobre o método da estação desconhecida, utilizado pela Estação Total. Foi apresentada a metodologia utilizada durante os experimentos, assim como os resultados obtidos com os métodos empregados, comparando os mesmos. Este trabalho contribui com a abordagem de um procedimento de medição com o emprego da Estação Total, de forma a facilitar o seu manuseio durante as aulas práticas, o que permitirá ao estudante entender melhor a sua finalidade, os cuidados para a obtenção de um melhor resultado em campo e utilização dos métodos automáticos disponibilizados pela Estação Total.

Para agilizar as medições de campo com o emprego de uma Estação Total deve-se ter a certeza de que os métodos estão sendo bem executados. O experimento abordado neste trabalho apresenta uma maneira de verificação entre métodos, quando no entorno da área de trabalho existe um conjunto de pontos de referência, que podem ser utilizados para a aplicação desses métodos. O fato de uma das discrepâncias ter sido grande não significa que esse procedimento desaprove o teste realizado. Recomenda-se repetir os procedimentos de verificação na mesma área e utilizar essa mesma metodologia em uma área mais ampla, o que permitirá investigar as medições da Estação Total com equidistâncias grandes.

Este trabalho possibilitou o aumento do campo de pontos planimétricos que são utilizados nas aulas práticas de Topografia. Permitiu uma verificação da poligonal implantada com centragem forçada e sua verificação pelo método automático da estação desconhecida utilizado pela Estação Total.

## AGRADECIMENTOS

À PROPESQ/UFPE pela oportunidade e pela bolsa de pesquisa concedida através do edital de bolsas PROPESQ pós-graduação de 01/2011.



## **REFERÊNCIAS**

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: EXECUÇÃO DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO. 1994.

ERBA, D.A.; THUM, B. A.; SILVA, C.A. da; SOUZA, G.C. de; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T.C. B. **Topografia para estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia**. 2003.

FARAH, T. T. F. Q. **Relatório final de atividades do aluno de Iniciação Científica (IC) PIBIB/UFPE/CNPq. Definição de sistemas de referência para o levantamento e locação de obras da construção civil – automação do procedimento de campo com o emprego de Estação Total**. 2010a.

FARAH, T.T.Q.; DE SEIXAS, A. **Automação do procedimento de campo com o emprego de estação total para o levantamento e locação de obras da construção civil**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE. 2010.

GAMA, L.F. **Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e estação total: aplicações em levantamentos cadastrais urbanos**. Dissertação (mestrado) do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco. 2008.

KAHMEN, H. **Vermessungskunde**. Aufl. 19. 1997.

TRIMBLE. **User guide 3300 DR**. 2004.

WILD HEERBRUGG Ltda. **The Theodolite and its Application**. Traduzido por A.H. Ward, F.R.I.C.S. Autor original: O. Trutmann. 1980.