



ESTAÇÃO LIVRE

SÉRIE: TOPOGRAFIA E AGRIMENSURA PARA
CURSOS TÉCNICOS

Cesar Rogério Cabral

Markus Hasenack

Flávio Boscatto

CURSO TÉCNICO DE AGRIMENSURA

Florianópolis
2018



INSTITUTO FEDERAL

Santa Catarina

Campus Florianópolis

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO TÉCNICO DE AGRIMENSURA

AGRIMENSURA

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

C117e

Cabral, Cesar Rogério

Estação livre: topografia e agrimensura para cursos técnicos [recurso eletrônico] / Cesar Rogério Cabral, Markus Hasenack, Flávio Boscatto – Florianópolis: IFSC, 2018.

1 Livro digital.

30 p.: il.

Inclui referências.

ISBN 97885XXXXXXX

1. Topografia. 2. Agrimensura. 3. Estação livre. I. Hasenack, Markus. II. Boscatto, Flávio. III. Título.

CDD 526.98

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC

Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Câmpus Florianópolis

Catalogado por: Edinei Antonio Moreno CRB 14/1065

SUMÁRIO

Item		Página
	ESTAÇÃO LIVRE	4
1	DEFINIÇÃO DO MÉTODO	4
2	MÉTODO POR DOIS PONTOS	6
2.1	Conceito	6
2.2	Procedimento	6
2.3	Cálculo	9
2.3.1	Do ponto de estação	9
2.3.2	De controle e novos pontos	15
2.4	Processamento	20
3	MÉTODO POR DOIS OU MAIS PONTOS (programa interno)	22
3.1	Conceito	22
3.2	Procedimento	22
3.3	Análise e tratamento das medições	23
4	MÉTODO POR TRANSFORMAÇÃO DE HELMERT	24
4.1	Conceito	24
4.2	Cálculo	26
4.3	Processamento	30

ESTAÇÃO LIVRE

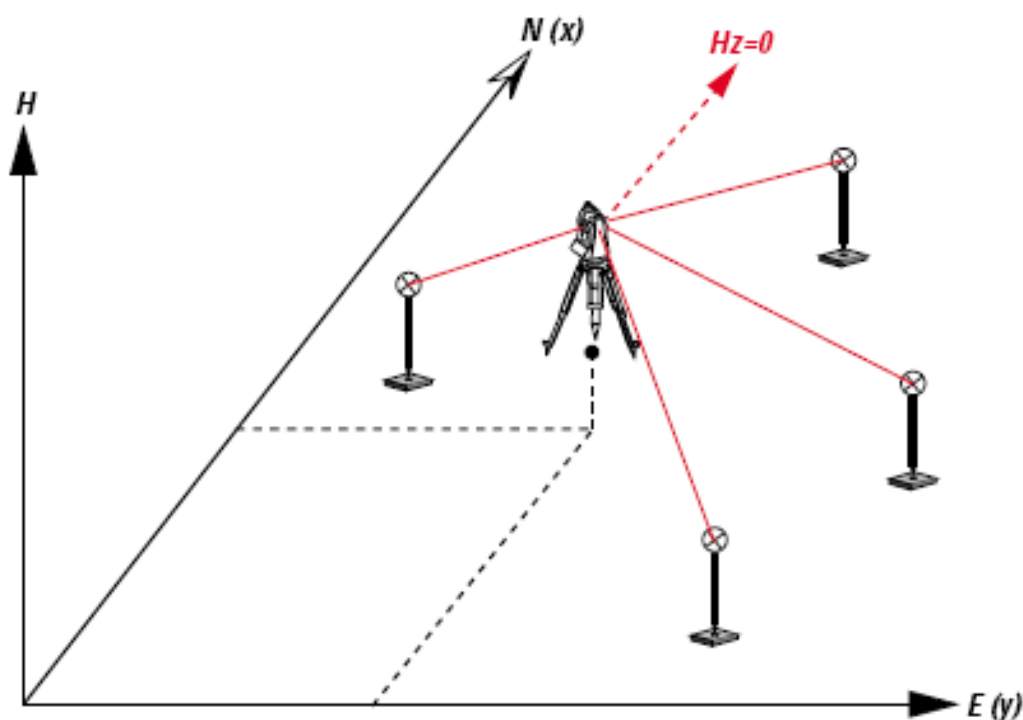
1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO

Este método determina as coordenadas de um ponto onde o instrumento está estacionado tendo como referência no mínimo dois pontos com coordenadas conhecidas. Quando necessita-se obter, com bastante exatidão, a posição (plana e altimétrica) de um ponto com relação a outros de um conjunto de pontos fixos de referência convenientemente materializada no terreno e homogêneo a ela deve-se utilizar o método de estação livre.

É de uso frequente nas determinações de estações para levantamento de detalhes e locações, é também conhecido como método de ressecção ou intersecção à ré.

No método da estação livre inicialmente não se conhecem as coordenadas do ponto de estação e existe um certo grau de liberdade de onde se quer estacionar o instrumento. Este grau de liberdade depende principalmente da intervisibilidade a pontos fixos de coordenadas já conhecidas (pontos de referência), bem como a novos pontos a serem determinados ou demarcados. As coordenadas do ponto de estação são a seguir determinadas através da medida de ângulos e de distâncias aos pontos de referência, através de um procedimento de cálculo ou utilizando-se de um programa interno do instrumento.

Na realidade o método de estação livre nada mais é do que uma transformação de sistemas de coordenadas, o sistema local do instrumento para o sistema dos pontos de referência.



Estação livre com estação total.(Zeiske, 2000)

O novo ponto determinado para o instrumento através do método de Estação Livre, poderá ser materializado ou não, dependendo da sua finalidade e grau de importância, por exemplo, se usarmos esse método para adensamento de Rede de Referência Cadastral, o ponto deverá ser materializado em local seguro, estável e com material perene.

Se o ponto for utilizado como base para a demarcação de estacas de uma obra civil e logo depois da demarcação, caminhões, bate-estacas e retroescavadeiras forem entrar na obra, pode não ser interessante demarcá-lo, pois o ponto provavelmente será movimentado, no entanto os pontos de referência demarcados em locais seguros (distantes de possíveis danos) servirão de apoio para a Estação Livre. Se necessário o método de Estação Livre poderá se repetir por diversas vezes, nesse caso específico da obra civil.

O controle para o ponto de Estação Livre realizado em outros pontos conhecidos da Rede de Referência também é válido, inclusive o método pode ser feito para comparação das coordenadas.

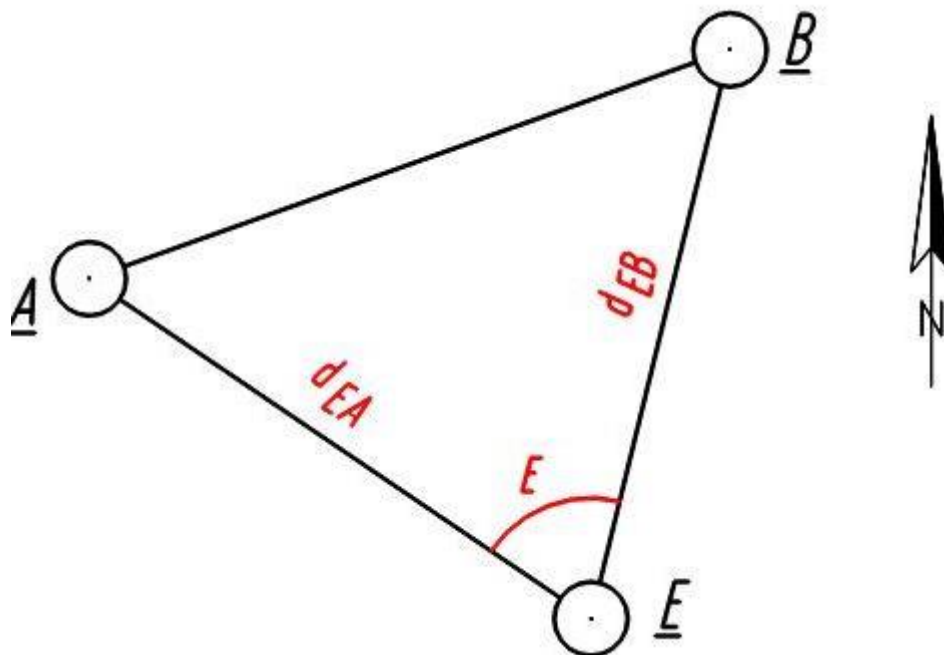
Nesta apostila três métodos de estação livre serão abordados, no primeiro a medição será realizada somente com dois pontos conhecidos sem a utilização de um programa específico no instrumento. No segundo método será utilizado um programa interno das estações totais para a obtenção das coordenadas da estação e sua verificação e no terceiro método será apresentado o procedimento chamado de estação livre por transformação de Helmert.

2 MÉTODO POR DOIS PONTOS

2.1 Conceito

A estação livre por dois pontos, é um processo de determinação de coordenadas que consiste em medir, de um ponto de estação desconhecido, o ângulo e as distâncias formadas pelas visadas dirigidas a dois outros pontos de posição conhecida. Assim, as coordenadas do ponto de estação podem ser calculadas quando, deste ponto, direções ou ângulos e distâncias são medidas.

A figura mostra os pontos conhecidos A , B e o ponto de estação E que se deseja determinar e os dados de medição: distâncias d_{EA} , d_{EB} e o ângulo E entre o ponto de estação e os pontos conhecidos.



Elementos a serem medidos no método por dois pontos.

2.2 Procedimento

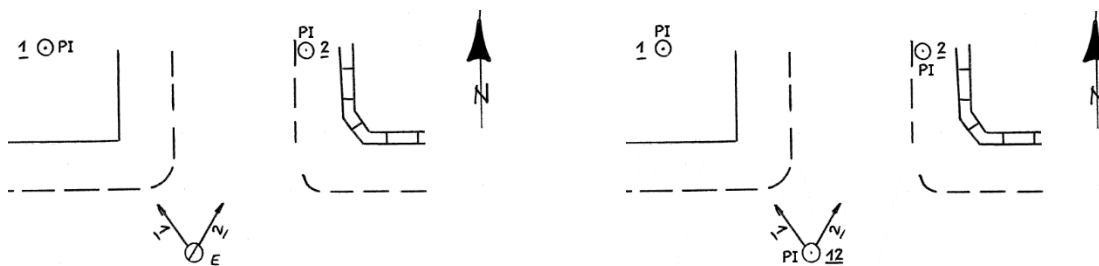
O ponto de estação escolhido deve preferencialmente estar entre 30° à 120° em relação aos pontos conhecidos (de referência), executa-se as medições do ângulo e distância ao primeiro ponto na posição direta e na inversa e em seguida a medição do ângulo e distância ao segundo ponto nas duas posições.

As coordenadas são obtidas pelo roteiro de cálculo a seguir ou por uma planilha para este fim.

O controle da medição poderá ser realizado por cálculo aproveitando as medições nos pontos de referência ou medindo-se outros pontos de coordenadas conhecidas. Em qualquer um dos métodos uma tolerância deve ser pré-estabelecida.

As anotações podem ser feitas em uma caderneta na qual deve constar no mínimo os pontos de referência e, o ângulo ou as direções bem como as distâncias medidas aos pontos de referência conforme modelo. Cadernetas eletrônicas em forma de planilhas também podem ser utilizadas. Neste caso necessita-se das coordenadas dos pontos de referência e o processamento e controles são feitos no momento da medição.

Deve ser feito um croqui com o desenho da situação dos pontos de referência e do ponto de estação livre a ser determinado. É interessante também a adoção de sinais convencionados para que se possa esclarecer melhor a situação.



Na figura da esquerda o ponto de estação livre “E” não é demarcado e está representado por um traço diagonal no desenho da feição do ponto. Na figura da direita o ponto de estação livre “12” é demarcado por um pino PI e está representado por um ponto excêntrico no desenho da feição do ponto. Para a indicação do tipo de material utilizado na demarcação pode-se usar: PF – parafuso, TI – tinta, PR – prego, etc. Nas duas figuras os pontos de referência 1 e 2 também são demarcados e acompanhados com a indicação do material utilizado na demarcação. Todos os nomes dos pontos são sublinhados e nos dois casos as medições de direções e de distâncias são representadas por segmentos de setas que partem da feição do ponto de estação livre para a direção dos pontos de referência, com a indicação, em cada seta, do nome do ponto de referência visado.

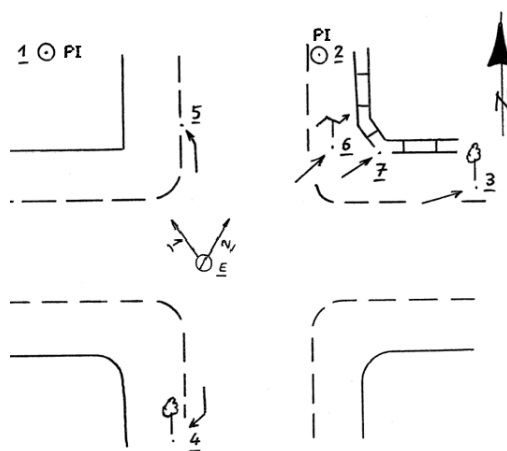
O roteiro abaixo indica a sequência de procedimentos em campo:

- 1 - Identificar os pontos de coordenadas conhecidas que podem ser de uma rede de referência;
- 2 - Identificar os pontos com necessidade de levantamento ou locação (demarcação);
- 3 – Ao escolher um local para a estação deve-se considerar :
 - a) que ângulo entre os pontos de referência fiquem entre 30° a 120° ;
 - b) os pontos a serem levantados ou locados;
 - c) confirmar todas as visadas antes de iniciar o procedimento de medição;
- 4 - Elaborar o croqui
- 5 - Materializar o ponto (se necessário);
- 6 - Instalar o equipamento;
- 7 - Configurar temperatura e pressão;
- 8 - Medir os pontos de referência, utilizando leitura direta e inversa para cada ponto de referência;
- 9 – Anotar em caderneta os dados de medição;
- 10 - Analisar se os resultados atendem a precisão do trabalho;

- 11 - Caso o procedimento apresentar valores indesejáveis no desvio padrão refazer as medições;
- 12 - Locar um outro ponto conhecido também pode dar um indicativo da qualidade do método aplicado;
- 13 - Iniciar o trabalho de medição ou locação;
- 14 - Para adensamento dos pontos de referência documentar todas as etapas e tomar fotografias dos pontos materializados.

Caderneta de campo Levantamento Planimétrico				
Atividade	Estação livre			Data 13/04/17
Equipe	Cabral, Hasenack			
Local	Campus Florianópolis			Folha 1
Equipamento	Ruide 820		Obs.	
Estação	Ponto Visado	Leitura angular	Distância Horizontal	Descrição
E	1	50°10'15"	198,045	PD referência
	1	230°10'17"	198,043	PI
	2	110°40'46"	198,629	PD referência
	2	290°40'48"	198,631	PI
	3	161°10'19"	72,454	árvore
	4	334°39'49"	45,272	árvore
	5	87°43'28'	51,377	meio fio
	6	128°41'38"	23,552	poste
	7	150°35'28"	43,678	muro

Modelo de caderneta de campo com dados de medição



Croqui do método com pontos de referência e pontos de interesse do levantamento.

2.3 Cálculo

2.3.1 – DO PONTO DE ESTAÇÃO

O roteiro de cálculo apresentado é referente ao método denominado trigonométrico, há outro método semelhante denominado de rotação de eixos.

Dados de medição do método trigonométrico de estação livre

- a - Coordenadas dos pontos **A** e **B**, (X_A ; Y_A) , (X_B ; Y_B);
- b - Ângulo entre os pontos A e B (**E**).
- c - Distâncias da Estação aos pontos A e B (d_{EA} ; d_{EB});

Roteiro de cálculo:

- 1 – Média distâncias (d_{EA} ; d_{EB})

$$d_{EA} = \frac{d_1 + d_2 + .. + d_n}{n} ;$$

$$d_{EB} = \frac{d_1 + d_2 + .. + d_n}{n}$$

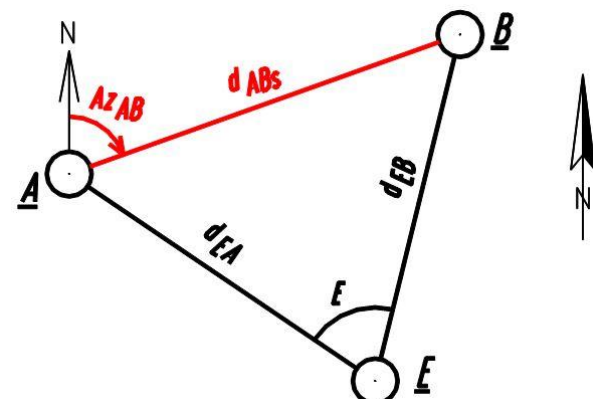
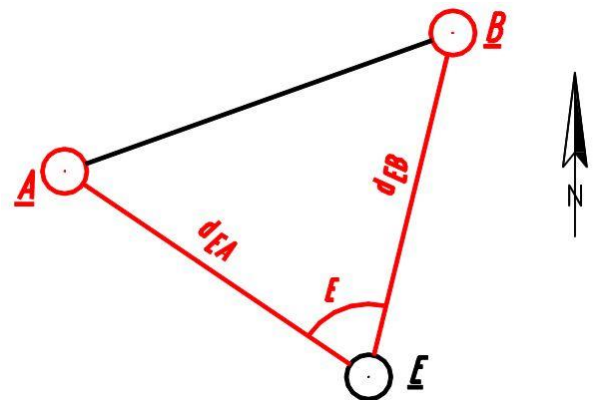
- 2 – Média do ângulo interno (**E**)

$$E = \frac{\sum (LV - LR)}{n}$$

- 3 - Cálculo da distância e do azimuth entre os pontos coordenados (d_{ABs} ; Az_{AB});

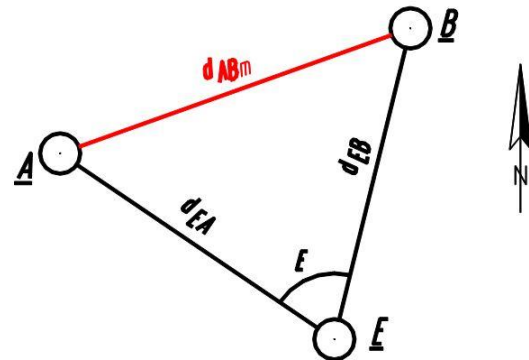
Transformação retangular – polar:

$$POL (Y_B - Y_A , X_B - X_A) = d_{ABs} ; Az_{AB}$$



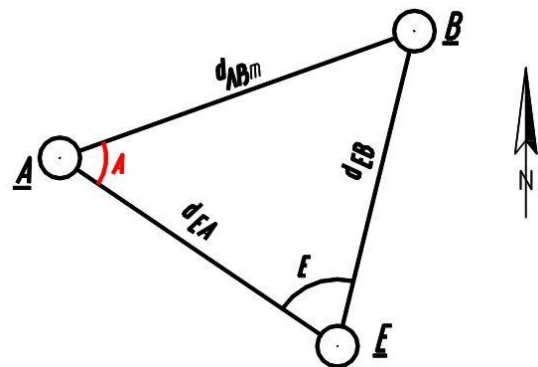
4 - Cálculo da distância entre os pontos coordenados, pela lei dos cossenos (d_{ABm});

$$d_{ABm} = \sqrt{d_{EA}^2 + d_{EB}^2 - 2 * d_{EA} * d_{EB} * \cos E}$$



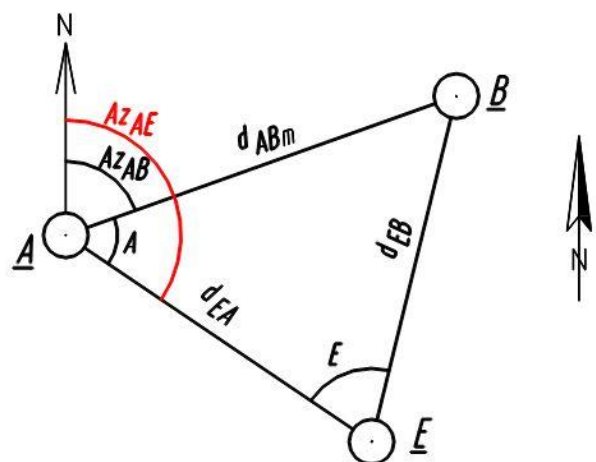
5- Cálculo do ângulo interno A, pela lei dos senos, (A);

$$A = \text{Arco seno} \left(\frac{d_{EB} * \text{Sen} E}{d_{ABm}} \right)$$



6 – Cálculo do azimuth entre um ponto coordenado e a estação, (Az_{AE})
Considerando o caminhamento horário ABE.

$$Az_{AE} = Az_{AB} + A$$

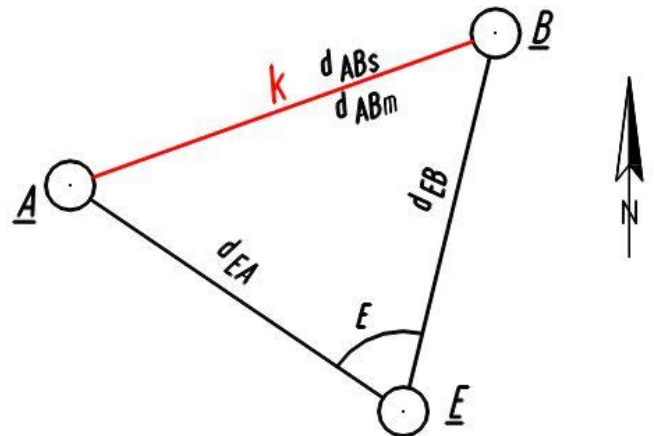


Se o caminhamento for AEB (anti-horário) $Az_{AE} = Az_{AB} - A$

7 – Cálculo do fator de escala (k);

$$k = \frac{d_{ABs}}{d_{ABm}}$$

$$k = \frac{\text{distância calculada por coordenada}}{\text{distância calculada por cosseno}}$$



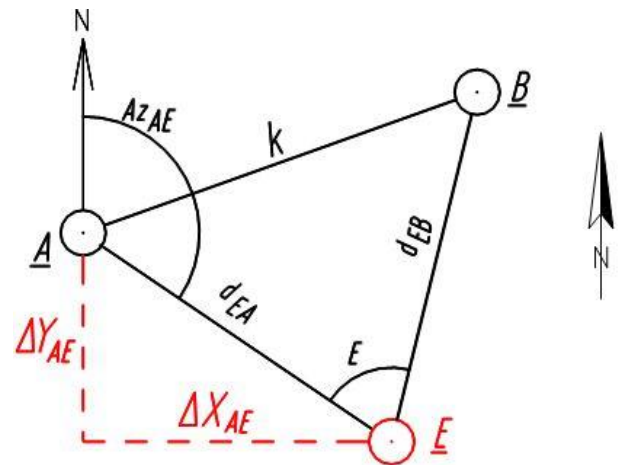
8 – Cálculo da coordenada da estação (X_E ; Y_E);

8.1 - Cálculo das projeções, (ΔX_{AE} ; ΔY_{AE}):

Transformação polar - retangular:

Shift Pol (Distância, Azimute)

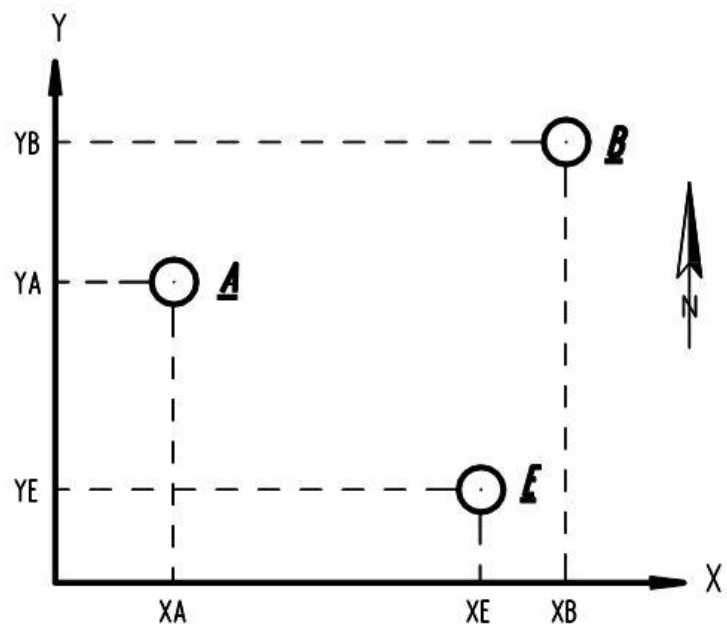
Shift Pol (d_{EA} , AZ_{AE}) = (ΔX_{AE} , ΔY_{AE})



8.2 - Cálculo da coordenada da estação (X_E : Y_E):

$$X_E = X_A + k * \Delta X_{AE}$$

$$Y_E = Y_A + k * \Delta Y_{AE}$$



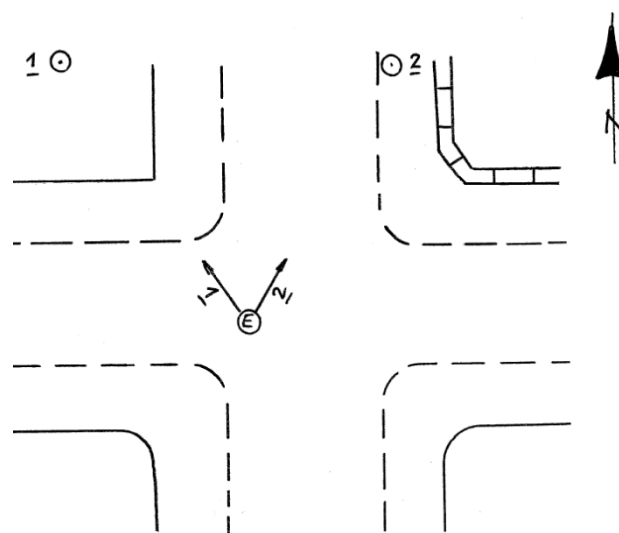
9 - O procedimento poderá ser conferido calculando-se as coordenadas da estação a partir do ponto B.

Exemplo:

Calcular as coordenadas da estação pelo método estação livre por dois pontos, sendo os dados de campo:

Coordenadas dos pontos: 1 (40,2764 ; 341,9211)
2 (240,0963 ; 337,8432).

Caderneta de campo Levantamento Planimétrico				
Atividade	Estação livre			Data 13/04/17
Equipe	Cabral, Hasenack			
Local	Campus Florianópolis			Folha 1
Equipamento	Ruide 820		Obs.	
Estação	Ponto Visado	Leitura angular	Distância Horizontal	Descrição
E	1	50°10'15''	198,045	PD referência
	1	230°10'17''	198,043	PI
	2	110°40'46''	198,629	PD referência
	2	290°40'48''	198,631	PI



Croqui de medição da estação

Roteiro de cálculo:

1 – Média distâncias (d_{EA} ; d_{EB})

$$d_{EA} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} ; \quad d_{EB} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$$

$$d_{EA} = (198,045 + 198,043)/2 = 198,044\text{m}$$

$$d_{EB} = (198,629 + 198,629)/2 = 198,630\text{m}$$

2 – Média do ângulo interno (E)

$$E = \frac{\sum(LV - LR)}{n}$$

$$E = ((110^\circ 40' 46'' - 50^\circ 10' 15'') + (290^\circ 40' 48'' - 230^\circ 10' 17''))/2 =$$

$$E = 60^\circ 30' 31''$$

3 - Cálculo da distância e do azimuth entre os pontos coordenados (d_{ABs} ; Az_{AB}); Transformação retangular – polar:

$$POL (Y_2 - Y_1, X_2 - X_1) = d_{ABs} ; Az_{AB}$$

$$Pol (337,8432 - 341,9211 ; 240,0963 - 40,2764)$$

$$D_{ABs} = 199,862\text{m} \quad Az_{AB} = 91^\circ 10' 09''$$

4 - Cálculo da distância entre os pontos coordenados, pela lei dos cossenos (d_{ABm});

$$d_{ABm} = \sqrt{d_{EA}^2 + d_{EB}^2 - 2 * d_{EA} * d_{EB} * \cos E}$$

$$d_{ABm} = \sqrt{(198,044^2 + 198,630^2 - 2 * 198,044 * 198,630 * \cos 60^\circ 30' 31'')}$$

$$d_{ABm} = 199,860\text{m}$$

5- Cálculo do ângulo interno A, pela lei dos senos, (A);

$$A = \text{Arco seno} \left(\frac{d_{EB} * \text{Sen} E}{d_{ABm}} \right)$$

$$A = \text{Arco seno} \left(\frac{198,630 * \text{sen} 60^\circ 30' 31''}{199,860} \right)$$

$$A = 59^\circ 53' 27''$$

6 – Cálculo do azimuth entre um ponto coordenado e a estação, (**Az_{AE}**);

$$AZ_{AE} = AZ_{AB} + A$$

$$AZ_{AE} = 91^{\circ}10'09'' + 59^{\circ}53'27''$$

$$\mathbf{Az_{AE} = 151^{\circ}03'36''}$$

7 – Cálculo do fator de escala (**k**);

$$k = \frac{d_{ABs}}{d_{ABm}} \quad \frac{\text{distância calculada por coordenada}}{\text{distância calculada por cosseno}}$$

$$k = 199,862 / 199,86 =$$

$$\mathbf{k = 1,000005392}$$

8 – Cálculo da coordenada da estação (**X_E ; Y_E**);

8.1 - Cálculo das projeções, (**ΔX_{AE} ; ΔY_{AE}**):Transformação polar - retangular:

Shift Pol (Distância, Azimute)

$$\text{Shift Pol (} d_{EA}, AZ_{AE} \text{)} = (\Delta X_{AE}, \Delta Y_{AE})$$

$$\text{Shift Pol (198,044 , 151}^{\circ}\text{03'36'')} =$$

$$\mathbf{\Delta X_{AE} = 95,8324 \quad \Delta Y_{AE} = - 173,3135}$$

8.2 - Cálculo da coordenada da estação (**X_E : Y_E**):

$$X_E = X_A + k * \Delta X_{AE} \quad Y_E = Y_A + k * \Delta Y_{AE}$$

$$X_E = 40,2764 + (1,000005392 * 95,8324)$$

$$\mathbf{X_E = 136,1093}$$

$$Y_E = Y_A + (Fe * \cos AZ_{AE})$$

$$Y_E = 341,9211 + (1,000005392 * - 173,3135)$$

$$\mathbf{Y_E = 168,6066}$$

$$\mathbf{E =(136,1093 ; 168,6066)}$$

9 - O procedimento poderá ser conferido calculando-se as coordenadas da estação a partir do ponto 2.

2.3.2 - DO CONTROLE E DOS NOVOS PONTOS

O cálculo do controle e dos novos pontos a partir das coordenadas da estação, que foram determinadas pelo roteiro no item 2.3.1, será feito considerando a direção entre a estação e o primeiro ponto de referência. **EA**, o azimute do primeiro ponto de referência até a estação (**AZ_{AE}**) e o fator **k** que foi determinado no cálculo da estação livre.

Dados de medição da estação livre

a - Distância entre a estação e o novo ponto ou controle (**d_{En}**)
b – Ângulos entre a direção **EA** e os novos pontos.

1- Ângulo irradiado (**I_n**)

$$L_R = (PD + PI) / 2$$

$$I_n = (L_v - L_R)$$

2- Azimute de Ré (**Az_r**)

$$Az_r = AZ_{AE} \pm 180^\circ$$

3- Azimute de vante (**Az_{En}**)

$$Az_{En} = Az_r + I$$

4- Coordenadas

4.1- Cálculo das projeções, (**ΔX_{En}** ; **ΔY_{En}**):

Transformação polar - retangular:

Shift Pol (Distância, Azimute)

$$\text{Shift Pol (} d_{En}, Az_{En} \text{)} = (\Delta X_{En}, \Delta Y_{En})$$

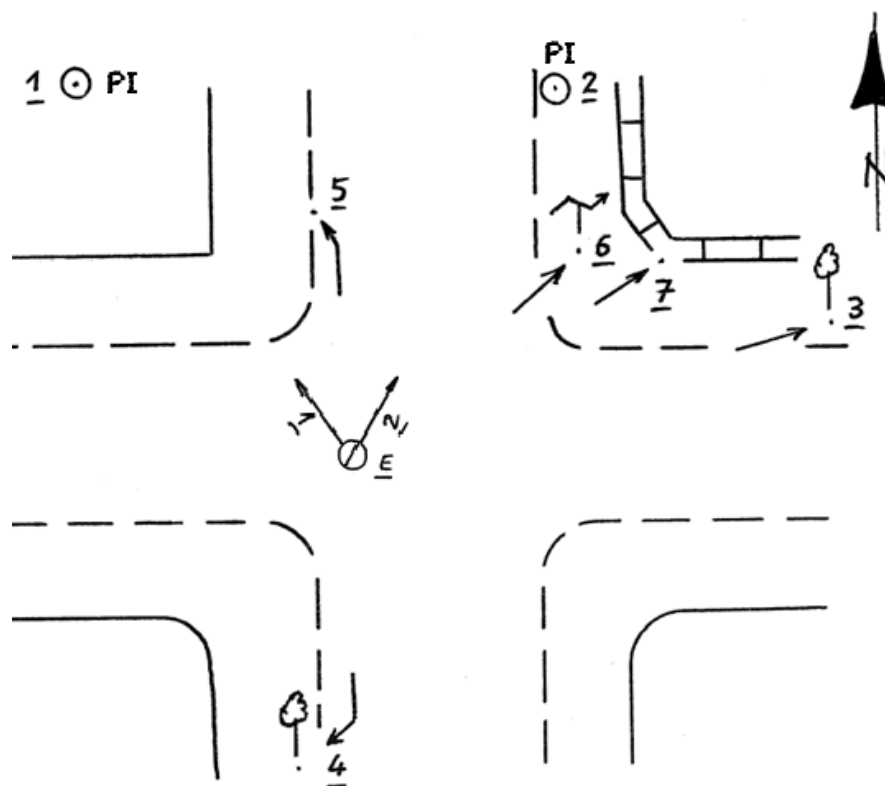
4.2- Cálculo da coordenada do novo ponto (**X_n** : **Y_n**):

$$X_n = X_E + k * \Delta X_{En} \qquad Y_n = Y_E + k * \Delta Y_{En}$$

Exemplo de cálculo dos novos pontos e controle

O ponto B será utilizado como controle da estação, recalculando sua posição em função das coordenadas do ponto de estação livre e tendo como tolerância 0,02 m em coordenada.

Estação	Ponto Visado	Leitura angular	Distância Horizontal	Descrição
E	1	50°10'15"	198,045	PD referência
	1	230°10'17"	198,043	PI
	2	110°40'46"	198,629	PD referência
	2	290°40'48"	198,631	PI
	3	161°10'19"	72,454	árvore
	4	334°39'49"	45,272	árvore
	5	87°43'28'	51,377	meio fio
	6	128°41'38"	23,552	poste
	7	150°35'28"	43,678	muro



Croqui do levantamento

Roteiro de cálculo

1- Ângulo irradiado (I_n)

$$L_R = (PD + PI) / 2$$

$$L_R = (50^\circ 10' 15'' + (230^\circ 10' 17'' - 180^\circ)) / 2 = 50^\circ 10' 16''$$

$$I_n = (L_v - L_R)$$

$$I_2 = 290^\circ 40' 48'' - 50^\circ 10' 16'' = 110^\circ 40' 46''$$

$$I_3 = 161^\circ 10' 19'' - 50^\circ 10' 16'' = 111^\circ 00' 03''$$

$$I_4 = 334^\circ 39' 49'' - 50^\circ 10' 16'' = 284^\circ 29' 33''$$

$$I_5 = 87^\circ 43' 28'' - 50^\circ 10' 16'' = 37^\circ 33' 12''$$

2- Azimute de Ré (AZ_r)

$$AZ_r = AZ_{AE} \pm 180^\circ$$

$$AZ_{1E} = 151^\circ 03' 36''$$

$$AZ_r = 151^\circ 03' 36'' + 180^\circ = 331^\circ 03' 36''$$

3- Azimute de vante (AZ_{En})

$$AZ_{En} = AZ_r + I$$

$$AZ_{E2} = 331^\circ 03' 36'' + 110^\circ 40' 46'' = 31^\circ 34' 06''$$

$$AZ_{E3} = 331^\circ 03' 36'' + 111^\circ 00' 03'' = 82^\circ 03' 39''$$

$$AZ_{E4} = 331^\circ 03' 36'' + 284^\circ 29' 33'' = 255^\circ 33' 09''$$

$$AZ_{E5} = 331^\circ 03' 36'' + 37^\circ 33' 12'' = 8^\circ 36' 48''$$

4- Coordenadas

4.1- Cálculo das projeções, (ΔX_{En} ; ΔY_{En}): Transformação polar - retangular:

$$\text{Shift Pol (} d_{En}, AZ_{En} \text{)} = (\Delta X_{En}, \Delta Y_{En})$$

$$\text{Shift Pol (} 198,629, 31^\circ 34' 06'' \text{)} = (\Delta X_{E2} = 103,985, \Delta Y_{E2} = 169,235)$$

$$\text{Shift Pol (} 72,454, 82^\circ 03' 39'' \text{)} = (\Delta X_{E3} = 71,752, \Delta Y_{E3} = 10,068)$$

$$\text{Shift Pol (} 45,272, 255^\circ 33' 09'' \text{)} = (\Delta X_{E4} = -43,840, \Delta Y_{E4} = -11,295)$$

$$\text{Shift Pol (} 51,377, 8^\circ 36' 48'' \text{)} = (\Delta X_{E5} = 7,694, \Delta Y_{E5} = 50,798)$$

4.2- Cálculo da coordenada da estação (X_n : Y_n):

$$X_n = X_E + k * \Delta X_{En}$$

$$Y_n = Y_E + k * \Delta Y_{En}$$

$$\begin{aligned}
X_2 &= 136,109 + 1,000005392 * 103,985 = 240,096 \\
Y_2 &= 168,607 + 1,000005392 * 169,235 = 337,844 \\
X_3 &= 136,109 + 1,000005392 * 71,752 = 207,869 \\
Y_3 &= 168,606 + 1,000005392 * 10,068 = 178,614 \\
X_4 &= 136,109 + 1,000005392 * -43,840 = 92,269 \\
Y_4 &= 168,606 + 1,000005392 * -11,295 = 157,312 \\
X_5 &= 136,109 + 1,000005392 * 7,694 = 143,804 \\
Y_5 &= 168,606 + 1,000005392 * 50,798 = 219,404
\end{aligned}$$

Ponto de controle 2

Coordenadas iniciais 240,0963 ; 337,8432

Coordenadas recalculadas 240,096 ; 337,844

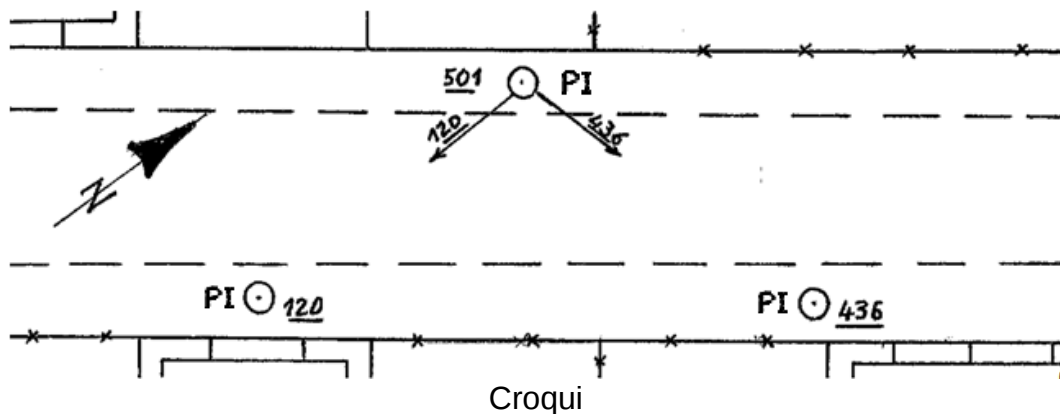
Medição dentro da tolerância estabelecida de 0,02m

Exercícios

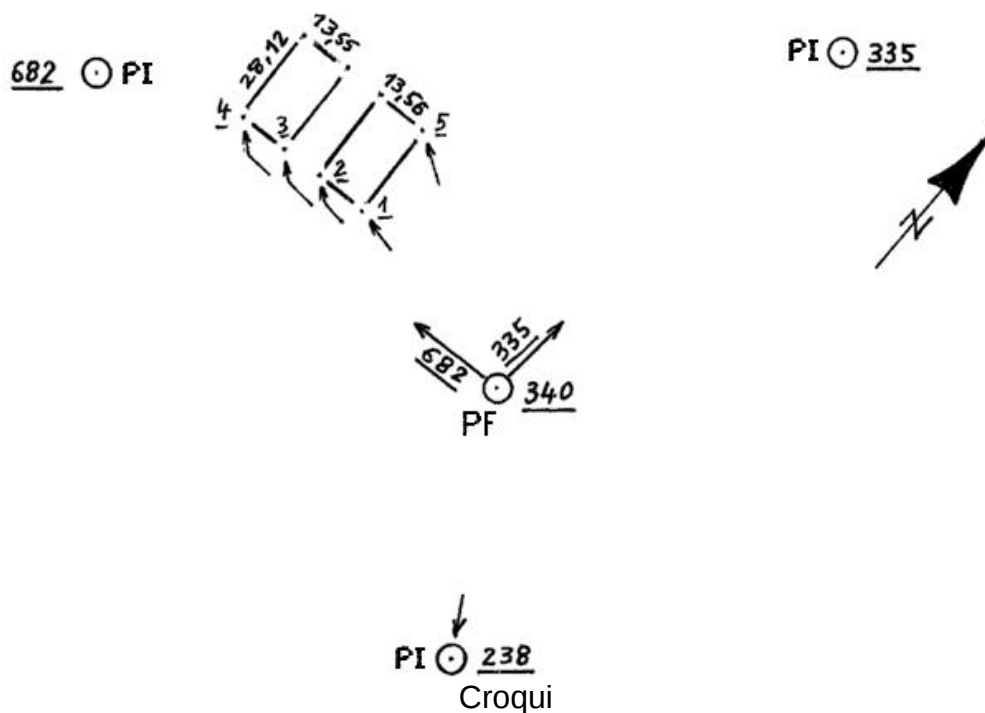
Calcular o valor das coordenadas do ponto de estação com os dados de medição.

Estação	Ponto Visado	Leitura angular	Distância Horizontal	Descrição
501	436	60°10'15"	111,285	PD referência
	436	240°10'17"	111,284	PI
	120	175°20'59"	112,906	PD referência
	120	355°21'01"	112,907	PI
Coordenadas	Ponto	X	Y	
	120	83,694	109,71	
	436	219,605	241,435	

Resposta : coordenadas da estação 501 = 192,771 ; 131.764



Estação	Ponto Visado	Leitura angular	Distância Horizontal	Descrição
340	682	298°17'07"	46,740	PD referência
	682	118°17'09"	46,742	PI
	335	21°57'58"	70,457	PD referência
	335	201°57'59"	70,456	PI
	238	179°16'12"	53,206	controle
	1	297°59'39"	16,408	edificação
	2	286°40'14"	29,301	edificação
	3	285°24'53"	32,088	edificação
	4	281°41'53"	45,447	edificação
	5	340°02'39"	38,141	edificação
Coordenadas	Ponto	X	Y	
	682	394,841	894,281	
	335	444,746	956,997	



Resposta: coordenadas da estação 340 = 440,954 ; 886,643

Ponto	X	Y		Ponto	X	Y
238	458,8107	836,5235		3	408,9243	884,7032
1	424,7527	889,2419		4	395,8633	880,9608
2	411,6744	885,5131		5	417,0354	916,3524

2.4 Processamento

Os cálculos descritos no roteiro poderão ser realizados em uma planilha onde devem constar:

- todos os itens constantes do roteiro de cálculo apresentado;
- o controle da qualidade da nova estação baseado na própria medição dos pontos de referência;
- o cálculo de novos pontos a partir da nova estação com a orientação do sistema;
- o desvio da estação;
- os desvios dos novos pontos.

Para facilitar a inserção de dados de medição, a planilha está dividida em duas abas uma denominada Campo e a outra Processamento, conforme figuras abaixo.

Estação Livre por Dois Pontos					
Dados de campo					
Equipe	Cabral; Hasenack ; Flávio			Data	17/05/2017
Local	IFSC Campus Florianópolis				
Equipamento	Estação Topcon GPT 7505 ns=7z1360				
	Angular "	Linear	mm	ppm	
Precisão Equipamento	5		2	2	
Controle PD PI	30		10	3	
Controle Coordenadas X Y em metros		0,02			
Pontos Conhecidos					
	Nº Ponto	Coordenadas		Desvio	
		X	Y	X	Y
Ponto A	A	40,2764	341,9211	0,002	0,002
Ponto B	B	240,0963	337,8432	0,003	0,003
		ABE horário	SIM		
		ESTAÇÃO (E) Nº Ponto		E1	
Medição no Ponto A					
Leitura angular		Controle	Distância		Controle
PD	PI	OK	PD	PI	OK
050,1015	230,1017		198,045	198,043	
Medição no Ponto B					
Leitura angular		Controle	Distância		Controle
PD	PI	OK	PD	PI	OK
110,4046	290,4048		198,629	198,631	
Novos pontos					

Na aba Campo são inseridos os dados de cabeçalho como equipe, local, data e equipamento utilizado; as precisões angular e linear do equipamento utilizado, os controles das posições direta e inversa das medições e o controle do desvio padrão das coordenadas X e Y; as coordenadas dos pontos fixos conhecidos com os seus nomes e respectivos desvios padrão; campos onde devem ser digitados os ângulos e as distâncias medidas aos pontos fixos conhecidos nas posições direta e inversa do equipamento e com os dados de

medição digitados será apresentado na planilha o resultado dos controles sendo “ok” para a aceitação da medição e “erro” para as medições fora das tolerâncias estabelecidas e se isso acontecer deve-se efetuar novas medições.

Estação Livre por Dois Pontos									
Processamento									
Equipe	Cabral; Hasenack ; Flávio			Data	17/05/2017				
Local	IFSC Campus Florianópolis								
Equipamento	Estação Topcon GPT 7505 ns=7z1360								
		Angular "	Linear	mm	ppm				
Precisão Equipamento		5		2	2				
Controle PD PI		30		10	3				
Controle Coordenadas X Y em metros			0,02						
Pontos Conhecidos									
	Nº Ponto	Coordenadas		Desvio					
		X	Y	X	Y				
Ponto A	A	40,2764	341,9211	0,002	0,002				
Ponto B	B	240,0963	337,8432	0,003	0,003				
Coordenadas da Estação (E)									
	Coordenadas		Desvios		Controle				
Nº ponto	X	Y	x	y					
E1	136,1093	168,6066	0,001	0,0002	OK				
Controle da Estação Pelos Pontos Conhecidos									
	Nº Ponto	Desvio		Controle					
		X	Y	X	Y				
	A	0,0008	0,0005	OK	OK				
	B	0,0008	0,0005	OK	OK				
Novos Pontos									
	Irradiação			Coordenadas		Desvios		Controle	
Nº ponto	Irradiado	stância Corrigi	Azimuth	X	Y	X	Y		
A	050,1015	198,0450679	331° 03'35"	40,2756	341,9206	0,0000	0,0000	OK	

Ângulo entre os pontos (E)
60° 30'31"
Azimuth AB
91° 10'09"
Distância AB por coordenadas
199,862
Distância AB por cosseno
199,860
Ângulo A
59° 53'27"
ABE horário
Azimuth AE ****
151° 03'36"
Fator de escala
1,000005392
Azimuth de ré
331° 03'36"
Leitura ré
50° 10'16"

Na aba denominada Processamento serão apresentados os resultados de todos os cálculos efetuados, incluindo coordenadas e desvios da estação, dos pontos de controle e dos novos pontos. Também será mostrado o resultado da qualidade do ponto de estação e dos demais pontos medidos.

3 MÉTODO POR DOIS OU MAIS PONTOS (programa interno)

3.1 Conceito

Nas estações totais modernas o método de Estação livre é apresentado como um programa interno com denominações variadas dependendo da marca.

São apresentados pelo programa o fator de escala e os desvios padrão das novas coordenadas determinadas (verificação da precisão do ponto de estação livre). Nos casos das estações totais que não dispõem a opção de memorizar os dados de precisão do novo ponto determinado (ponto de estação livre), estes devem ser anotados em um documento próprio para o ponto.

Ao final do processo fica o limbo do instrumento automaticamente orientado ao sistema de referência. O programa interno solicita então um nome para o novo ponto determinado (ponto de estação livre sobre o qual o instrumento está estacionado) com a opção de poder armazenar as novas coordenadas determinadas na memória interna.

Uma vez que o ponto está armazenado na memória interna pode-se informar ao instrumento que ele está ocupando tal ponto. Deste, para controle, medem-se os mesmos pontos de referência que serviram para a determinação do ponto de estação, como se eles ainda não existissem. Comparam-se as coordenadas medidas com as mesmas coordenadas já existentes dos pontos fixos e anotam-se as diferenças para cada coordenada, a fim de avaliar a consistência do novo ponto determinado (verificação da exatidão do ponto de estação livre). Anotam-se os desvios no documento do ponto. Caso as diferenças não ultrapassem certos limites previamente especificados, a determinação do ponto de estação pode ser considerada como controlada.

Daí, novos pontos podem ser medidos e para a determinação das coordenadas destes pontos o programa utiliza o mesmo fator de escala calculado para a sua determinação ficando os novos pontos ajustados com relação aos pontos fixos de referência, ou seja, com dados homogêneos obedecendo ao princípio de vizinhança (NBR 13133/94, item 5.2, p.7). Para aumentar a qualidade na medição, o ponto de estação livre deve ser determinado tomando como pontos de referência no mínimo três pontos fixos ficando o novo ponto dentro da área compreendida entre o triângulo formado pelos pontos de referência, a fim de ficarem resolvidas as tensões entre os pontos tornando assim os resultados mais homogêneos.

3.2 Procedimentos

Alguns procedimentos de campo para uso do programa interno de Estação Livre independentemente do modelo da Estação Total devem ser adotados para a obtenção de um bom resultado.

É fundamental a consulta ao manual do instrumento para conhecimento de procedimentos específicos para cada modelo de estação.

Procedimentos básicos para levantamentos pelo método estação livre:

- 1 - Identificar os pontos de referência;
- 2 - Identificar os pontos com necessidade de levantamento ou locação (demarcação);
- 3 - Escolher um local para o ponto de estação, levando em consideração os pontos de referência, os pontos a serem levantados ou locados e confirmar todas as visadas antes de iniciar o procedimento de medição;
- 4 - Elaborar o croqui
- 5 - Materializar o ponto (se necessário);
- 6 - Instalar o equipamento;
- 7 - Configurar temperatura e pressão;
- 8 - Digitar as coordenadas e nomes dos pontos de referência no arquivo do instrumento;
- 9 - Iniciar o programa de Estação Livre;
- 10 - Informar o nome do novo ponto;
- 11 - Medir os pontos de referência, se o programa da Estação Total permitir utilizar leitura direta e inversa para cada ponto;
- 12 - Utilizar de 3 a 4 pontos de referência (sugestão para um melhor resultado);
- 13 - Remedir os pontos de referência e comparar a coordenada medida com a coordenada fixa dos mesmos;
- 14 - Analisar se os resultados atendem a precisão do trabalho;
- 15 - Caso o procedimento apresentar valores indesejáveis no desvio padrão refazer as medições;
- 16 - Locar um outro ponto conhecido também pode dar um indicativo da qualidade do método aplicado;
- 17 - Iniciar o trabalho de medição ou locação;
- 18 - Para adensamento dos pontos de referência documentar todas as etapas e tomar fotografias dos pontos materializados.

3.3 Análise e tratamento das medições

A partir dos arquivos de medição deve-se realizar uma análise e o tratamento das medições executadas verificando a qualidade das medições.

Abaixo um arquivo de medição da estação Ruide apresentando o programa de Reseção (estação livre) com destaque para os procedimentos executados.

CO,Ruide Raw data

CO,BETO7 <JOB> Created 2017-05-24 08:45:29

MP,ROGE,,458.735,836.488,13.149,
MP,JUJO,,394.841,894.281,11.050,
MP,JEEZ,,444.746,956.997,13.297,

Coordenadas dos pontos de referência

CO,Temp:18.0 C Press:1019.0 hPa Prism:0mm 2017.05.24 08:58:44

CO, Start of Resection

F1,ROGE,1.600,53.206,179.1612,89.5531, 09:02:04
F1,JUJO,1.600,46.740,298.1707,92.2843, 09:04:31
F1,JEEZ,1.600,70.457,21.5758,89.4943, 09:06:21

Medição nos pontos de
referência

CO, ROGE:dHA=0.0018 dVD=0.000 dHD=0.008
CO, JUJO:dHA=0.0020 dVD=-0.008 dHD=0.004
CO, JEEZ:dHA=0.0003 dVD=0.007 dHD=0.018
CO, Std Dev of Coords: E:-0.003 N:0.003 Z:0.004

Desvio dos resíduos

RE,EL1,,440.909,886.627,13.079,

COORDENADA DA ESTAÇÃO

CO,Temp:18.0 C Press:1019.0 hPa Prism:-30mm 2017.05.24 09:08:03
ST,EL1,,JEEZ,,1.520,3.0714,3.0714

SS,1,2.930,16.408,297.5939,91.0842, 09:17:26,I
SS,2,1.665,29.301,286.4014,93.2713, 09:19:11,I
SS,3,2.000,32.088,285.2453,92.3931, 09:20:20,I
SS,4,1.380,45.447,281.4153,92.4924, 09:21:37,I
SS,5,0.874,38.141,340.0239,93.3719, 09:23:53,I
SS,6,1.485,70.132,352.4224,91.1532, 09:26:34,I

Medição dos pontos de
interesse

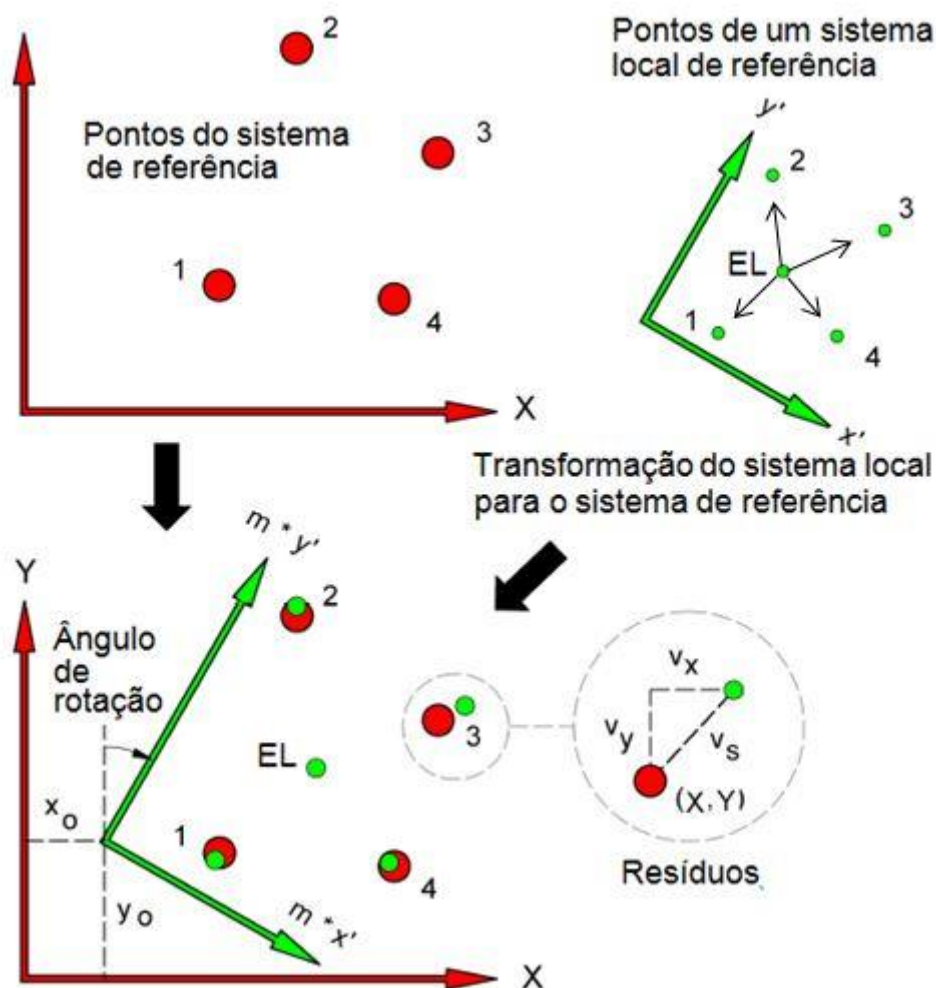
4 Método por transformação de Helmert

4.1 Conceito

O método de estação livre pode ser resolvido por vários modelos matemáticos entre eles as transformações geométricas, sendo a de Helmert uma das possibilidades.

Na transformação por Helmert são adotados 4 parâmetros sendo uma rotação, uma translação e dois fatores de escala para se obter as coordenadas da estação podendo-se trabalhar a medição nos dois sistemas o local do instrumento e o dos pontos de referência. Este método está presente em alguns modelos de estação.

O esquema abaixo demonstra o método de Helmert.



Transformação por Helmert adaptado de FUHRMANN (2010)

A parte superior esquerda da figura em vermelho mostra os pontos 1, 2, 3 e 4 que pertencem a um sistema de referência X ; Y . Na parte superior direita, em verde, a figura mostra um ponto de estação EL e deste ponto as medições (direções e distâncias) representadas por setas aos mesmos pontos de referência (pontos idênticos) 1, 2, 3 e 4, comentados anteriormente, só que

neste caso no sistema local $x';y'$ do equipamento. Ao aplicar a transformação de Helmert (parte inferior da figura) o sistema local do equipamento (em verde) é transformado para o sistema de referência (em vermelho): $x';y'$ para $X; Y$. Neste caso são envolvidos quatro parâmetros na transformação como se pode observar na figura: os deslocamentos da origem do sistema local $x';y'$ para o sistema de referência $X; Y$ denominados de translações, representados por x_0 e y_0 ; o **ângulo de rotação** para orientar o sistema local ao sistema de referência e um **fator de escala** na figura representado pela letra “m”, para resolver a escala do sistema local para o sistema de referência. Percebe-se que após a transformação, em função dos erros acidentais que estão presentes em todas as medições, são identificadas pequenas diferenças entre as coordenadas dos pontos fixos de referência (vermelho) e as coordenadas transformadas (verde) dos mesmos pontos. A estas diferenças dá-se o nome de resíduos e estão representados na figura por v_x e v_y . O ponto de estação livre que inicialmente não fazia parte do sistema de referência, após a transformação passa a fazer.

4.2 Cálculo

Para o procedimento de cálculo são necessários dos dados de conhecimento das coordenadas dos pontos em um sistema conhecido ($X_i ; Y_i$), e os ângulos e distâncias medidas nos pontos conhecidos.

Roteiro de cálculo para a estação e novos pontos

1 Cálculo das coordenadas no sistema local ($x_i ; y_i$)

Obs. Considerando as médias dos ângulos lidos e das distâncias em cada ponto.

O azimute no sistema local pode ser igual ao ângulo horizontal medido.

$$x_i = d_{Ei} * \text{sen } AZ_{Ei} \quad y_i = d_{Ei} * \text{cos } AZ_{Ei}$$

2 Centróide dos sistemas coordenados ($x_s ; y_s$), ($X_s ; Y_s$)

$$x_s = \frac{\sum x_i}{n} \quad y_s = \frac{\sum y_i}{n}$$

$$X_s = \frac{\sum X_i}{n} \quad Y_s = \frac{\sum Y_i}{n}$$

3 Redução do centróide

$$\overline{x_i} = x_i - x_s \quad \overline{y_i} = y_i - y_s$$

$$\overline{X_i} = X_i - X_s \quad \overline{Y_i} = Y_i - Y_s$$

4 Parâmetros de transformação

$$o = \frac{\sum (\bar{y}_i * \bar{X}_i) - \sum (\bar{x}_i * \bar{Y}_i)}{\sum y_i^2 + \sum x_i^2} \quad a = \frac{\sum (\bar{y}_i * \bar{Y}_i) + \sum (\bar{x}_i * \bar{X}_i)}{\sum y_i^2 + \sum x_i^2}$$

5 Coordenadas do ponto de estação

$$X_E = X_s - a * x_s - o * y_s \quad Y_E = Y_s - a * y_s + o * x_s$$

6 Desvios dos pontos coordenados

$$v_{xi} = - X_E - a * x_i - o * y_i + X_i \quad v_{yi} = - Y_E - a * y_i + o * x_i + Y_i$$

7 Desvio da estação

$$S_x = S_y = \sqrt{\frac{\sum (v_{yi} v_{yi}) + \sum (v_{xi} v_{xi})}{2n - 4}}$$

8 Coordenadas dos novos pontos no sistema local

$$x_n = d_{En} * \sin AZ_{En} \quad y_n = d_{En} * \cos AZ_{En}$$

8.1 Coordenadas no sistema de pontos fixos

$$X_n = X_E + a * x_n + o * y_n \quad Y_n = Y_E + a * y_n - o * x_n$$

Exemplo de Estação livre por Helmert

Tabela de coordenadas no sistema de referência

Pontos	Coordenadas	
	X	Y
A	742769,1190	944781,7490
B	742352,1760	945508,8220
C	742545,7420	945712,6210
Soma	2227667	2836003

Estação	Ponto Visado	Ângulo Horizontal	Distância Horizontal	Descrição
E	A	009,3035	735,469	PD referência
	A	189,3033	735,469	PI
	B	140,2405	145,364	PD referência
	B	320,2404	145,364	PI
	C	224,2156	256,222	PD referência
	C	044,2159	256,222	PI

Demonstração do roteiro de cálculo para a estação

1 Cálculo das coordenadas no sistema local (x_i ; y_i)

$$x_i = d_{Ei} * \text{sen } AZ_{Ei} \quad y_i = d_{Ei} * \text{cos } AZ_{Ei}$$

Pontos	Coordenadas	
	X	Y
A	121,507	725,362
B	92,656	-112,007
C	-179,161	-183,17
Soma	35,002	430,185

2 Centróide dos sistemas coordenados (x_s ; y_s), (X_s ; Y_s)

$$x_s = \frac{\sum x_i}{n} \quad y_s = \frac{\sum y_i}{n}$$

$$x_s = \frac{35,002}{3} = 11,6675 \quad y_s = \frac{430,185}{3} = 143,395$$

$$X_s = \frac{2227667}{3} = 742555,7 \quad Y_s = \frac{2836003}{3} = 945334,4$$

3 Redução do centróide

$$\bar{x}_i = x_i - x_s \quad \bar{y}_i = y_i - y_s$$

$$\bar{x}_i = 121,5069 - 11,6675 = 109,8395$$

$$\bar{x}_i = 92,6560 - 11,6675 = 80,98859$$

$$\bar{x}_i = -179,161 - 11,6675 = -190,828$$

$$\bar{y}_i = 725,3623 - 143,395 = 581,9673$$

$$\bar{y}_i = -112,007 - 143,395 = -255,402$$

$$\bar{y}_i = -183,17 - 143,395 = -326,565$$

$$\bar{X}_i = X_i - X_s \quad \bar{Y}_i = Y_i - Y_s$$

$$\bar{X}_i = 742769,1 - 742555,7 = 213,44$$

$$\bar{X}_i = 742352,2 - 742555,7 = -203,503$$

$$\bar{X}_i = 742545,7 - 742555,7 = -9,937$$

$$\bar{Y}_i = 944781,7 - 945334,4 = -552,648$$

$$\bar{Y}_i = 945508,8 - 945334,4 = 174,4247$$

$$\bar{Y}_i = 945712,6 - 945334,4 = 378,2237$$

4 Parâmetros de transformação

$$o = \frac{\sum (\bar{y}_i * \bar{X}_i) - \sum (\bar{x}_i * \bar{Y}_i)}{\sum \bar{y}_i^2 + \sum \bar{x}_i^2} \quad a = \frac{\sum (\bar{y}_i * \bar{Y}_i) + \sum (\bar{x}_i * \bar{X}_i)}{\sum \bar{y}_i^2 + \sum \bar{x}_i^2}$$

$$o = \frac{179435,2 - -118752}{565600,2}$$

$$o = 0,527205$$

$$a = \frac{-489686 - 8858,979}{565600,2}$$

$$a = -0,85012$$

5 Coordenadas do ponto de estação

$$X_E = X_s - a * x_s - o * y_s \quad Y_E = Y_s - a * y_s + o * x_s$$

$$X_E = 742555,7 - -0,85012 * 11,667 - 0,527205 * 143,395$$

$$X_E = 742489,999$$

$$Y_E = 945334,4 - -0,85012 * 143,395 + 0,527205 * 11,667$$

$$Y_E = 945462,451$$

6 Desvios dos pontos coordenados

$$v_{xi} = -X_E - a * x_i - o * y_i + X_i \quad v_{yi} = -Y_E - a * y_i + o * x_i + Y_i$$

Pontos	Vx	Vy
A	0,00069	0,000936
B	-0,00395	0,000235
C	0,003262	-0,00117

7 Desvio da estação

$$S_x = S_y = \sqrt{\frac{\sum (v_{yi} v_{yi}) + \sum (v_{xi} v_{xi})}{2n - 4}}$$

$$S_x = S_y = 0,0038 \text{ m}$$

