

DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO DE REFERÊNCIA PELO MÉTODO DE POTHENOT

¹ Sofia Stancke Pundek , ² Vinícius Schappo Hillesheim , ³ Markus Hasenack , Cesar ⁴ Rogério Cabral

¹ Instituto Federal de Santa Catarina/Departamento Acadêmico de Construção Civil/pundeksofia@gmail.com

² Instituto Federal de Santa Catarina/Departamento Acadêmico de Construção Civil/ viniciusschappo@yahoo.com.br

³ Instituto Federal de Santa Catarina/Departamento Acadêmico de Construção Civil/hasenack@ifsc.edu.br

⁴ Instituto Federal de Santa Catarina/Departamento Acadêmico de Construção Civil/ ccabral@ifsc.edu.br

Resumo: A determinação de coordenadas de pontos de levantamento com relação a um sistema de referência coordenado, que pode ser local ou nacional, vem se tornando uma exigência tanto na legislação nacional quanto nas municipais. Conhecer os métodos que podem ser usados e a forma de materialização da rede e seu posicionamento são desafios que se impõem aos profissionais da área de medição. O objetivo deste artigo é apresentar uma técnica de medição denominado método de Pothénot, onde a partir de três pontos é possível determinar as coordenadas da estação com as medidas dos ângulos formados entre eles. Para esta pesquisa foram realizadas medições nas posições direta e inversa entre os pontos, sendo realizadas em estações com distâncias curtas, distâncias médias e distâncias longas, tendo como finalidade de verificação da qualidade do método em função das precisões estabelecidas nas novas normas técnicas, que ainda estão em processo de revisão. Considerando as medições efetuadas utilizando equipamento compatível com as precisões dos instrumentos atuais, é possível adotar esta técnica desde que tomados os cuidados necessários ao procedimento e com o estabelecimento de uma rede de coordenadas com pontos que possam indicar somente a direção, diminuindo desta forma o custo de implantação desta rede.

Palavras-Chave: Pothénot; Estação Livre; Rede de Referência.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com o avanço da tecnologia, os trabalhos relacionados a Agrimensura contam com uma grande variedade de métodos e equipamentos para a realização de medições que tem como finalidade determinar a posição de um ponto no espaço.

A legislação brasileira exige para as áreas rurais e em alguns casos para as áreas urbanas que o levantamento esteja vinculado a um sistema de referência, sendo que o atual Sistema Geodésico Brasileiro utilizado é o SIRGAS 2000. O uso de um sistema único de referência nacional garante um controle na compatibilidade de levantamentos das mais variadas finalidades. (FONSECA et al., 2016, p.160).

O método de Pothénot para sua ampla utilização exige uma rede densa de pontos conhecidos com localização que permita a visualização de três pontos para a determinação das coordenadas de um novo ponto para a rede.

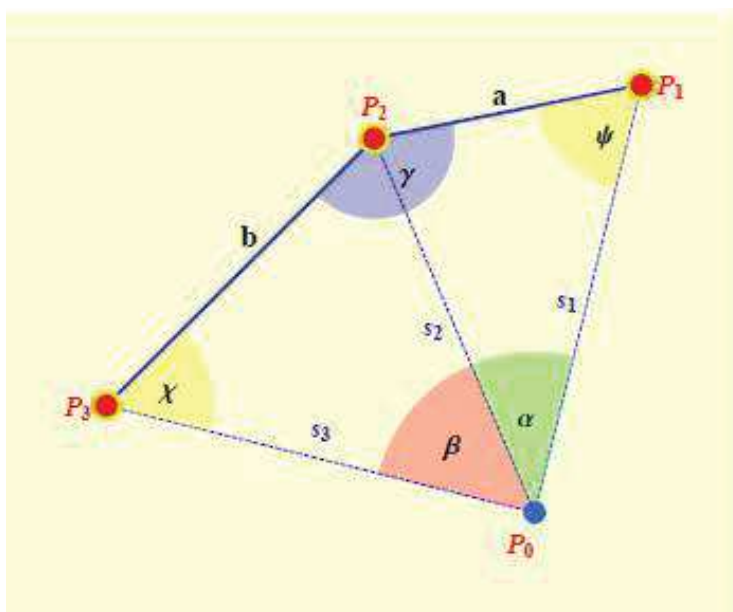
Segundo Silva et al. (2015) a finalidade do método é calcular as coordenadas das estações e também as orientações dos alinhamentos formados entre a estação e os pontos visualizados.

Aproveitando a rede implantada no Campus Florianópolis e seus arredores, foram realizadas medições para a verificação da viabilidade do uso deste método para fins de determinação das coordenadas de um novo ponto da rede, objetivo desta pesquisa.

2 METODOLOGIA

O método de Pothenot, também conhecido como método de interseção à ré, consiste em determinar as coordenadas de um ponto ou estação desconhecida a partir de três pontos de coordenadas previamente determinadas (CABRAL E HASENACK, 2008, p.8). As informações necessárias para este cálculo são somente os ângulos formados entre as visadas aos três pontos conforme o esquema do problema na figura 01.

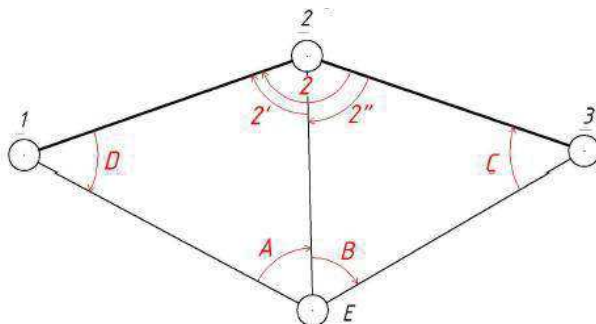
Figura 01 – Esquema do problema de Pothenot



Fonte: Willerding (2018).

Nesta medição, os pontos de estação já tinham as coordenadas determinadas e ajustadas por GNSS ou estação livre com uma precisão de 1 cm. Sendo assim, com o resultado obtido pela equação de Pothenot, foram comparadas as coordenadas de um mesmo ponto utilizando duas técnicas diferentes.

Para a determinação das coordenadas dos pontos desta pesquisa foi elaborada uma planilha seguindo o roteiro de cálculo conforme croqui da figura 02.

Figura 02 – Croqui do problema

Fonte: Os autores.

I - Cálculo das distâncias e azimutes entre os pontos coordenados.

Transformação de coordenadas retangulares em polares:

$$\text{POL} ((Y_2 - Y_1), (X_2 - X_1)) = (d_{12}, \text{Az}_{12}) \quad (1)$$

$$\text{POL} ((Y_3 - Y_2), (X_3 - X_2)) = (d_{23}, \text{Az}_{23}) \quad (2)$$

II - Cálculo do ângulo entre os alinhamentos (2):

$$2 = (\text{Az}_{12} \pm 180^\circ) - \text{Az}_{23} \quad (3)$$

III - Determinação do ângulo auxiliar, (U):

$$U = 360^\circ - (2 + A + B) \quad (4)$$

$$U = C + D \quad (5)$$

IV - Cálculo do ângulo (C):

$$\text{Cotg } C = \frac{d_{23} * \text{Sen } A}{d_{12} * \text{Sen } B * \text{Sen } U} + \text{Cotg } U \quad (6)$$

V - Cálculo do ângulo (D):

$$D = U + C \quad (7)$$

VI - Determinação das coordenadas a partir do ponto (1):

Vla - Cálculo do ângulo 2':

$$2' = 180^\circ - (A + D) \quad (8)$$

Vlb - Cálculo da distância da estação ao ponto 1 (d1E):

$$d_{1E} = \frac{d_{12} * \text{Sen } 2'}{\text{Sen } A} \quad (9)$$

Vlc - Cálculo do azimute entre o ponto 1 e a estação (Az1E):

$$\text{Az}_{1E} = \text{Az}_{12} + D \quad (10)$$

Vld - Cálculo das projeções, (X1E ; Y1E):

Transformação polar - retangular:

$$\text{Shift Pol} (\text{Distância}, \text{Azimute}) = (X_{1E}, Y_{1E}) \quad (11)$$

Vle - Cálculo da coordenada da estação (XE : YE):

$$X_E = X_1 + X_{1E} \quad (12)$$

$$Y_E = Y_1 + Y_{1E} \quad (13)$$

Os pontos utilizados neste experimento fazem parte da rede de pontos do Curso Técnico de Agrimensura e estão materializados dentro ou nas proximidades do IFSC Campus Florianópolis. Todos os pontos dessa rede têm suas coordenadas ajustadas conforme norma NBR14166. No levantamento de campo, foram feitas três medições angulares conjugadas para cada um dos pontos da rede, sendo o método testado com distâncias de visadas curtas, médias e longas em relação ao ponto a ser determinado. A medição dos ângulos foi realizada com uma estação total da marca Trimble, modelo S7, com precisão nominal de 5".

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram informadas as medições de campo dos dados medidos e processados em uma planilha conforme a figura 03; e na figura 04, são apresentados os resultados do processamento conforme a sequência de cálculo demonstrada.

Figura 03 – Planilha de campo

 INSTITUTO FEDERAL Santa Catarina Campus Florianópolis		DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL CURSO TÉCNICO DE AGRIMENSURA TOPOGRAFIA 3 Professores: Cabral; Hasenack					
Método Pothén							
Dados de campo							
Equipe	Cabral; Hasenack			Data	01/07/2019		
Local	IFSC Campus Florianópolis						
Equipamento							
	Angular "	Linear	mm	ppm			
Precisão Equipamento	2		2	2			
Controle PD PI	30		10	3			
Controle Coordenadas X Y em metros	0,03						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Nº da Estação</td> <td>D</td> </tr> </table>						Nº da Estação	D
Nº da Estação	D						
	Nº Ponto	Coordenadas		Desvio			
		X	Y	X	Y		
1	A	209,3081	368,2009	0,003	0,002		
2	B	252,2431	396,3831	0,003	0,003		
3	C	290,3311	371,7690	0,003	0,003		
Leitura a Ré Pothén							
	Nº Ponto	PD	PI	Controle			
	A	010,0000	190,0000				
	B	103,3607	283,3607				
	C	185,2812	005,2812				
Irradiação							

Fonte: Os autores.

Figura 04 – Planilha de processamento

Fonte: Os autores.

Os dados processados foram resumidos nas tabelas 01, 02, 03 e 04 apresentando os resultados das medições e do processamento das quatro situações das estações em relação aos pontos conhecidos, ou seja, distância curta, distância média, distância longa e uma com distâncias variadas.

Tabela 01 – Medição pontos distância curta

Nº ponto	Leitura PD	Leitura PI	X (m)	Y (m)
L0029	93°19'16"	273°19'39"	742.642,747	6.945.331,366
L0026	121°59'21"	301°59'30"	742.647,991	6.945.320,171
L0024	154°48'11"	334°48'21"	742.658,110	6.945.318,222
Estação Calculada S003			742.642,108	6.945.310,140
Estação Conhecida S003			742.642,085	6.945.310,169
Diferença entre coordenadas			0,023	0,029

Fonte: Os autores.

Tabela 02 – Medição pontos distância média

Nº ponto	Leitura PD	Leitura PI	X (m)	Y (m)
P010	190°34'19"	10°34'29"	742.689,275	6.945.379,335
P007	223°37'53"	43°37'54"	742.686,041	6.945.319,034
S003	248°57'07"	68°57'01"	742.642,085	6.945.310,169
Estação Calculada P008			742.625,793	6.945.404,794
Estação Conhecida P008			742.625,824	6.945.404,809
Diferença entre coordenadas			0,031	0,015

Fonte: Os autores.

Tabela 03 – Medição pontos distância longa

Nº ponto	Leitura PD	Leitura PI	X (m)	Y (m)
S002	258°54'43"	78°54'42"	742.769,110	6.944.781,746
S006	66°46'03"	246°46'04"	742.352,186	6.945.508,820
S001	163°40'44"	343°40'44"	743.419,696	6.945.895,068
Estação Calculada P006			742.498,182	6.945.325,989
Estação Conhecida P006			742.498,191	6.945.325,998
Diferença entre coordenadas			0,009	0,009

Fonte: Os autores.

Tabela 04 – Medição pontos distâncias mistas

Nº ponto	Leitura PD	Leitura PI	X (m)	Y (m)
P008	50°22'34"	230°22'33"	742.625,824	6.945.404,809
L0024	123°23'41"	303°23'42"	742.658,110	6.945.318,222
S002	226°36'34"	46°36'34"	742.769,110	6.944.781,746
Estação Calculada S003			742.642,089	6.945.310,153
Estação Conhecida S003			742.642,085	6.945.310,169
Diferença entre coordenadas			0,004	0,016

Fonte: Os autores.

Na comparação das coordenadas dos quatro pontos de estação calculados com os resultados com coordenadas conhecidas, obtiveram-se diferenças centimétricas para distâncias curtas até 50 m, médias até 300 m, longas distâncias e variadas. Essas diferenças estão abaixo da tolerância estabelecida pela norma de implantação de redes de referência, que é até 5 cm em coordenadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na maioria dos levantamentos topográficos que tem como finalidade determinar as coordenadas de algum ponto, é necessário além dos valores angulares, o valor da distância entre o ponto de estação e o ponto a ser determinado. O procedimento de medir uma distância é feito utilizando um prisma que reflete o sinal eletromagnético emitido pelo distanciômetro da estação total. Em alguns casos, geralmente em meio

urbano, existem fatores que impedem a leitura no prisma, o que impossibilita uma medição pelo método de estação livre, por exemplo.

Como uma alternativa, a utilização do método de Pothenot torna-se relevante uma vez que este faz uso apenas dos valores de ângulo horizontal, o que facilita algumas condições de campo. Concluímos que este estudo é de grande valia tanto para a comunidade acadêmica das ciências geodésicas quanto aos profissionais do ramo da Agrimensura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de revisão da **NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal**. São Paulo, 2019.

CABRAL, C.R.; HASENACK, M. **Apostila de Topografia III, Estação Livre**. Instituto Federal de Santa Catarina, Curso Técnico em Agrimensura Florianópolis, 2008.

FONSECA, G. et al. A importância dos sistemas geodésicos de referência no cadastramento rural. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, Vol. 20, n.2, p.147-162. 2016.

WILLERDING, E. **Die Pothenotsche Aufgabe und ihre Erweiterungen**. Bonn. 2018.

SILVA, I.; MARTINS, D. O. ; SEGANTINI, P. C. L. . Cálculo de Intersecciones Topograficas Utilizando el Promedio Ponderado. In: **VII Convención de Agrimensura, 2015, Habana. Anales de la VII Convención de Agrimensura**. Habana, 2015. v. único.