Universidade de São Paulo

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Departamento de Engenharia de Biossistemas

APONTAMENTOS DE AULA

Capítulo 7 – Levantamento por Irradiação

Material integrante da apostila de apoio à disciplina
LEB0340 – Topografia

Responsável: Prof. Dr. Peterson Ricardo Fiorio
Colaboradores: Dra. Érica Nakai
Isa Marchini Rolisola

Piracicaba

2019

7 LEVANTAMENTO POR IRRADIAÇÃO

É um método simples, de precisão relativamente boa, dependendo dos cuidados do operador, pois não há controle sobre os erros que possam ter ocorrido.

Geralmente é aplicado como auxiliar dos levantamentos por caminhamento.

O método aplica-se a áreas pequenas, desprovidas de vegetação e pouco acidentadas, pois baseia-se na medição de ângulos e Distâncias Horizontais (DHs), formados pelo ponto de estação do aparelho e os vértices do perímetro (limite) ou detalhes (construções, cercas, etc.).

Os ângulos são medidos por goniômetros (por exemplo, Teodolito) e as distâncias horizontais obtidas pelos métodos indiretos (por exemplo, Taqueometria). Com as Coordenadas Polares (DH; Ângulos) obtidas em campo é possível calcular as Coordenadas Retangulares (X; Y) e assim plotar os pontos permitindo, por exemplo, o cálculo de áreas, a plotagem do desenho técnico, a geração de projetos, entre outros.

7.1 PRINCÍPIO

O Levantamento por Irradiação consiste na obtenção de coordenadas polares (Distâncias Horizontais; Ângulos Horizontais).

De um ponto escolhido (dentro da área, fora da área, ou em um dos vértices da poligonal) estaciona-se o aparelho (Teodolito). Nesse primeiro ponto, deve-se zerar o Ângulo Horizontal no (Norte). Para a primeira estação, os ângulos medidos são relacionados à linha N-S, baseando-se no Norte Magnético (Nm), Norte Verdadeiro (Nv), ou ainda, um Norte Hipotético (Nh), obtendo-se para o primeiro ponto de estação (PE) Azimutes ou Rumos. Após esse procedimento pode-se irradiar todos os pontos de interesse.

O Levantamento por Irradiação pode ser Simples ou com Múltiplas Estações

7.1.1 IRRADIAÇÃO SIMPLES

Quando o levantamento é realizado com uma única estação do aparelho o nome dado é Irradiação Simples, neste caso todos os ângulos horizontais são Azimutes (Figura 1).

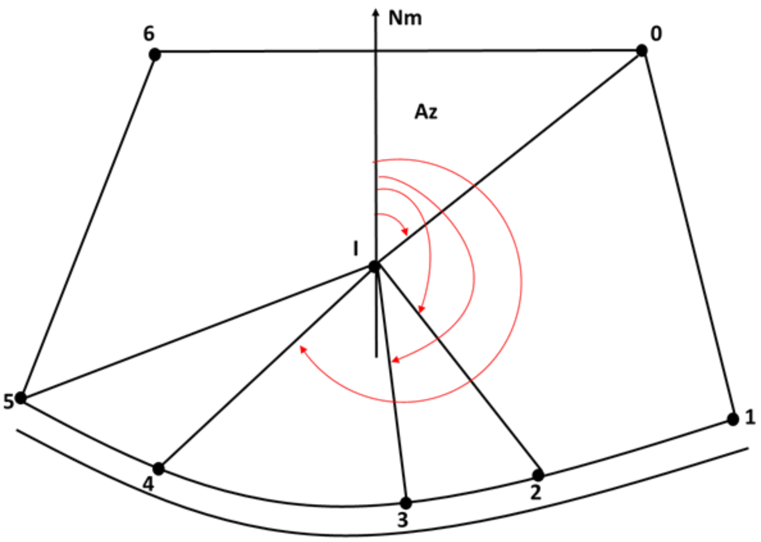

Figura 1 - Levantamento por Irradiação Simples (de um único ponto de estação), obtendo-se ângulos e distâncias.

7.1.2 IRRADIAÇÃO COM MÚLTIPLAS ESTAÇÕES

Quando no levantamento por irradiação existe a necessidade de se mudar o aparelho para terminar ou continuar os trabalhos de campo, o levantamento denomina-se Irradiação com Múltiplas Estações, ou seja, com mais de um ponto de estação.

Em relação ao número de pontos de origem (estações), podemos ter uma única estação ou múltiplas estações. No caso das múltiplas estações (Figura 2), elas são necessárias quando há algum impedimento da visão de todos os pontos a serem levantados, como construções e vegetação, ou quando a área é alongada, sendo difícil a visualização dos pontos mais distantes.

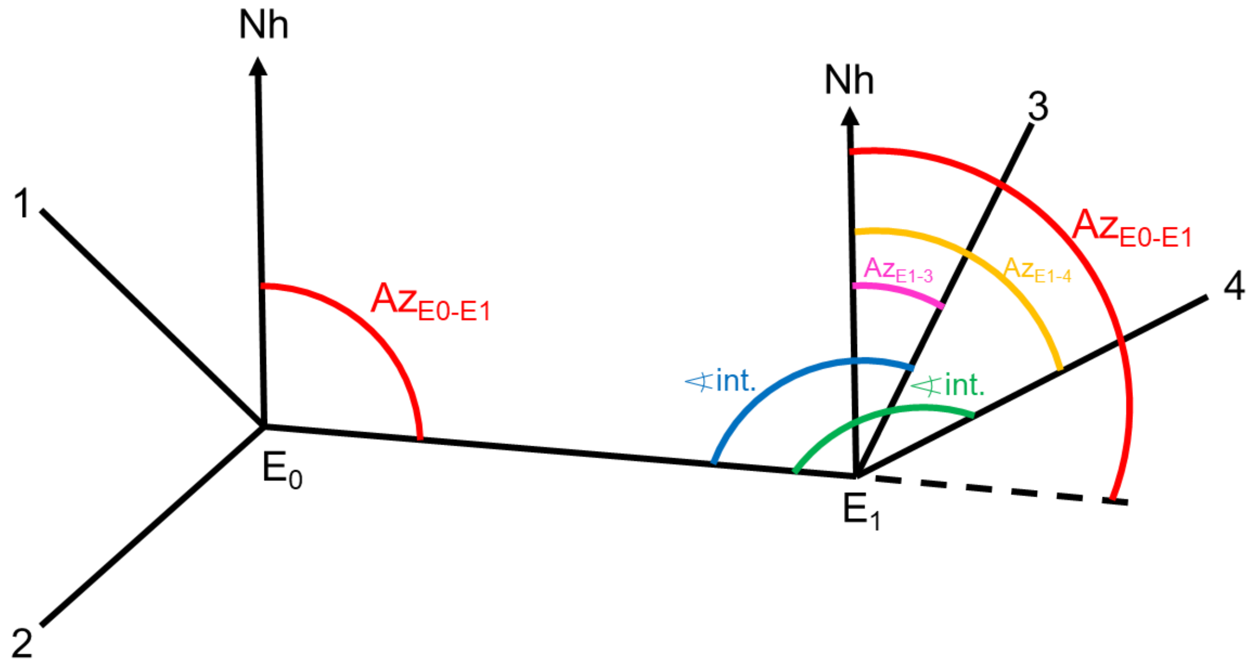

Figura 2 - Levantamento por irradiação com múltiplas estações (E_0-E_1).

7.2 TRABALHO DE CAMPO

As operações que deverão ser realizadas no campo são:

Cravar um piquete, dentro ou fora da área, onde se possa visar todos os pontos a serem levantados.

Nesse ponto, deve-se estacionar o aparelho, nivelar, zerar e orientar (geralmente pelo Norte Magnético ou Hipotético).

Quando zeramos o equipamento no Norte Magnético (Nm), utilizamos uma bússola para encontrar o Nm, colocando a bússola (Figura 3) abaixo da luneta e alinhando a linha de visada com a linha Norte-Sul.

Figura 3 - Bússola típica utilizada em Topografia.

Quando zeramos o equipamento no Norte Hipotético (Nh), podemos utilizar como ponto um marco ou algum ponto que dificilmente será perdido, como postes de iluminação.

Figura 4 - Exemplo de Marco Geodésico.

Após devidamente instalado e zerado, e obtida a altura do instrumento (Ai), se efetua a leitura do primeiro ponto.

Deve-se primeiro obter o Ângulo Horizontal (ou Hz). Para isso, utiliza-se a baliza sobre o ponto, e alinha o retículo vertical com ela. Escolhe-se se a leitura será na face esquerda ou na face direita. Após a primeira leitura, essa escolha deverá ser mantida até o término das atividades.

Depois de anotado o valor do Ângulo Horizontal, deve-se substituir a baliza pela mira, para que se proceda a leitura da mira nos fios estadimétricos (retículo superior, retículo médio e retículo inferior) e anotar o ângulo vertical.

Esse processo se repete para todos os alinhamentos I-1, I-2, I-3...

Todas as anotações bem como o croqui da área são registradas em uma caderneta de campo.

7.3 CADERNETA DE CAMPO DO LEVANTAMENTO POR IRRADIAÇÃO SIMPLES

A caderneta de campo para o Levantamento por Irradiação Simples pode ser visualizada na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Caderneta de campo de um levantamento por irradiação

RÉ	PE	PV	Ângulo Horizontal	RS	RM	RI	Ângulo Vertical	Obs.
Norte	I	0	45°49’57	1,658	1,000	0,342	89°53’59”	Limite
Norte	I	1	113°26’39’	1,753	1,000	0,247	90°12’14”	Limite
Norte	I	2	132°32’45”	1,099	1,000	0,901	91°58’37”	Limite

7.4 TRABALHO DE ESCRITÓRIO

Os cálculos realizados com os dados obtidos em campo seguem o mesmo princípio dos cálculos descritos no “ Capítulo 6 – Medição Indireta de Distâncias: Taqueometria”.

São utilizadas as fórmulas taqueométricas:

$$DH = 100 * (RS - RI) * [sen(Z)]^2$$

$$\Delta = DH * cotg\ Z$$

$$DN = \Delta + Ai - RM$$

Onde,

DH = Distância Horizontal, em metros;

RS = Leitura do Retículo Superior, em metros;

RI = Leitura do Retículo Inferior, em metros;

Z = Ângulo Zenital, em graus;

DN = Diferença de Nível, em metros;

Ai = Altura do instrumento; e

RM = Retículo Médio.

7.5 EXEMPLO

7.5.1 LEVANTAMENTO POR IRRADIAÇÃO COM UMA ÚNICA ESTAÇÃO

Em uma propriedade rural pretende-se realizar um projeto de irrigação, o que torna necessária a determinação da Diferença de Nível (DN) e da Distância Inclinada (DI) entre o ponto de captação de água e o reservatório no ponto mais alto da propriedade. Qual é a Diferença de Nível (DN) e a Distância Horizontal (DH) entre o ponto de captação (ponto A) e o reservatório (ponto B)? Qual a metragem de cano a ser utilizada na ligação do ponto de captação com o reservatório (Distância Inclinada, DI)? A caderneta de campo do levantamento topográfico está exposta na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Levantamento por irradiação com uma única estação

RÉ	PE	PV	Ai	Ângulo Horizontal	RS	RM	RI	Ângulo vertical
Nh	E_0	A	1,540	300°20’20”	2,044	1,522	1,000	93°20’45”
Nh	E_0	B	1,540	62°10’12”	2,342	1,671	1,000	87°15’22”

Segue abaixo o procedimento para resolução deste problema.

Primeiro, desenha-se o croqui da área levantada (Figura 3).

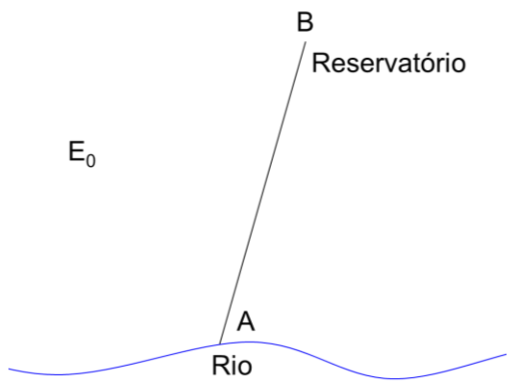

Figura 5 – Croqui.

Segundo, calcula-se a Distância Horizontal (DH) entre o ponto estacionado e os pontos visados ($DH_{E0\text{-}A}$ e $DH_{E0\text{-}B}$).

$$DH_{E0-A} = 100 * (2{,}044 - 1{,}000) * sen\ (93°20'45")^2 \ = \ 104{,}044 \text{ m}$$
$$DH_{E0-B} = 100 * (2{,}342 - 1{,}000) * sen\ (87°15'22")^2 \ = \ 133{,}892 \text{ m}$$

Terceiro, calculamos as Diferenças de Nível entre a Estação 0 e o ponto A (E_0-A) e entre a Estação 0 e o ponto B (E_0-B).

$$\Delta_{E0-A} = 104{,}044 * cotg\ (93°20'45") \ = \ -6{,}083\ m$$
$$\Delta_{E0-B} = 133{,}892 * cotg\ (87°15'22") \ = \ 6{,}417\ m$$

$$DN_{E0-A} = \ -6{,}083 + 1{,}540 - 1{,}522 = \ -6{,}065\ m$$
$$DN_{E0-B} = \ 6{,}417 + 1{,}540 \ - 1{,}671 = \ 6{,}286\ m$$

Quarto, calculamos a Diferença de Nível entre A e B (DN_{AB}). Para isso utilizaremos a cota 100 m, que serão somados as Diferenças de Nível encontradas.

$$Cota_{E0-A} = -6{,}065 + 100 = 93{,}935\ m$$
$$Cota_{E0-B} = 6{,}286 + 100 = 106{,}286\ m$$

$$DN_{\overrightarrow{AB}} = Cota_{E0-B} - Cota_{E0-A} = 106{,}286 - 93{,}935 = 12{,}351\ m$$

Quinto, calculamos as coordenadas retangulares totais dos pontos A e B utilizando a função Rec da calculadora.

$$Rec\left(DH_{\overrightarrow{E0-A}}, Az_{\overrightarrow{E0-A}}\right) = Rec\ (104{,}044; 300°20'20'') \rightarrow X = -89{,}795\ m;\ Y = 52{,}554\ m$$
$$Rec\left(DH_{\overrightarrow{E0-B}}, Az_{\overrightarrow{E0-B}}\right) = Rec\ (133{,}892; 62°10'12'') \rightarrow X = 118{,}406\ m;\ Y = 62{,}507\ m$$

Sexto, calculamos as coordenadas retangulares parciais ($\Delta X_{\overrightarrow{AB}}$ e $\Delta Y_{\overrightarrow{AB}}$) do alinhamento $\overrightarrow{AB}$.

$$\Delta X_{\overrightarrow{AB}} = X_B - X_A = 118{,}406 - (-89{,}795) = 208{,}201\ m$$
$$\Delta Y_{\overrightarrow{AB}} = Y_B - Y_A = 62{,}507 - 52{,}554 = 9{,}953\ m$$

Sétimo, calculamos as coordenadas polares do alinhamento $\overrightarrow{AB}$, por meio da função Pol da calculadora, para obter a Distância Horizontal entre os pontos ($DH_{\overrightarrow{AB}}$).

$$Pol\left(\Delta Y_{\overrightarrow{AB}}, \Delta X_{\overrightarrow{AB}}\right) = Pol\ (9{,}953; 208{,}201\ ) \rightarrow DH_{\overrightarrow{AB}} = 208{,}439\ m$$

Oitavo, calculamos a Distância Inclinada (DI) entre os pontos A e B ($DI_{\overrightarrow{AB}}$) por meio do Teorema de Pitágoras.

$$\left(DI_{\overrightarrow{AB}}\right)^2 = \left(DH_{\overrightarrow{AB}}\right)^2 + \left(DN_{\overrightarrow{AB}}\right)^2$$
$$DI_{\overrightarrow{AB}} = \sqrt{\left(DH_{\overrightarrow{AB}}\right)^2 + \left(DN_{\overrightarrow{AB}}\right)^2}$$
$$DI_{\overrightarrow{AB}} = \sqrt{(208{,}439)^2 + (12{,}351)^2}$$
$$DI_{\overrightarrow{AB}} = 208{,}805\ m$$

Portanto, a Distância Horizontal ($DH_{\overrightarrow{AB}}$) é de 208,439 m, a Diferença de Nível ($DN_{\overrightarrow{AB}}$) é de 12,351 m, e a metragem de cano a ser utilizada na ligação do ponto de captação e o reservatório é de 208,805 m.

7.5.2 LEVANTAMENTO POR IRRADIAÇÃO COM DUAS ESTAÇÕES

Em uma propriedade rural foi realizado um levantamento topográfico por irradiação, utilizando duas estações, com o objetivo de formar um piquete para gado de corte. Pretende-se cercar o piquete com cerca elétrica. Qual o perímetro do piquete? Quantos metros de arame devem ser comprados para a realização do projeto (considere, didaticamente, que a cerca possua apenas um fio)? Qual a área cercada de pasto? A caderneta de campo do levantamento topográfico está exposta na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Levantamento por irradiação com duas estações

RÉ	PE	PV	Ai (m)	Ângulo Horizontal	DH (m)	Ângulo Horizontal Calculado
Nh	E_0	1	1,570	237°51’49”	28,311	237°51’49”
Nh	E_0	2	1,570	302°45’26”	41,932	302°45’26”
Nh	E_0	E_1	1,570	107°14’58”	35,523	107°14’58”
E_0	E_1	3	1,600	121°30’45”	50,619	48°45’43”
E_0	E_1	4	1,600	166°31’06”	42,360	93°46’04”

Segue abaixo o procedimento para resolução deste problema.

Primeiro, calcula-se o Azimute dos pontos 3 e 4 pela fórmula:

$$Az_i = Az_{i-1} + \hat{A}ngulo\ Interno + 180°$$

$$Az_3 = 107°14'58 + 121°30'45 + 180° = 408°45'43'' - 360° = 48°45'43''$$
$$Az_4 = 48°45'43 + 166°31'06'' + 180° = 395°16'43 - 360° = 35°16'49''$$

Segundo, calcula-se as coordenadas totais dos pontos 1 e 2 pela função Rec da calculadora.

$$Rec\ (DH_{E0-1}, Az_{E0-1}) = Rec\ (28{,}311; 237°51'49'') \rightarrow Y = -15{,}060\ m \rightarrow X = -23{,}973\ m$$
$$Rec\ (DH_{E0-2}, Az_{E0-2}) = Rec\ (41{,}932; 302°45'26'') \rightarrow Y = 22{,}688\ m \rightarrow X = -35{,}263\ m$$
$$Rec\ (DH_{E0-E1}, Az_{E0-E1}) = Rec\ (35{,}523; 107°14'58'') \rightarrow Y = -10{,}534\ m \rightarrow X = 33{,}925\ m$$

Terceiro, calcula-se as coordenadas parciais dos pontos 3 e 4 pela função Rec da calculadora.

$$Rec\ (DH_{E1-3}, Az_{E1-3}) = Rec\ (50{,}619; 48°45'43'') \rightarrow Y = \ 33{,}367\ m \rightarrow X = \ 38{,}064\ m$$
$$Rec\ (DH_{E1-4}, Az_{E1-4}) = Rec\ (42{,}360; 93°46'04'') \rightarrow Y = -2{,}783\ m \rightarrow X = \ 42{,}268\ m$$

Quarto, calcula-se as coordenadas totais dos pontos 3 e 4, somando as coordenadas parciais com as coordenadas da Estação 1 (Tabela 4).

$$X_3 = 38{,}064\ +\ 33{,}925\ =\ 71{,}989\ m$$
$$Y_3 = 33{,}367 + (-10{,}534)\ =\ 22{,}833\ m$$

$$X_4 = 42{,}268\ +\ 33{,}925\ =\ 76{,}193\ m$$
$$Y_4 = -2{,}789\ + (-10{,}833)\ =\ -13{,}317\ m$$

Tabela 4 – Cálculo das coordenadas totais

RÉ	PE	PV	Ai (m)	Ângulo Horizontal	DH (m)	Ângulo Horizontal calculado	Coordenadas (m)			
							parciais		totais	
							X	Y	X	Y
Nh	E_0	1	1,570	237°51'49"	28,311	237°51'49"			-23,973	-15,060
Nh	E_0	2	1,570	302°45'26"	41,932	302°45'26"			-35,263	22,688
Nh	E_0	E_1	1,570	107°14'58"	35,523	107°14'58"			33,925	-10,534
E_0	E_1	3	1,600	121°30'45"	50,619	48°45'43"	38,064	33,367	71,989	22,833
E_0	E_1	4	1,600	166°31'06"	42,360	93°46'04"	42,268	-2,783	76,193	-13,317

Quinto, calcula-se as coordenadas parciais entre os pontos (ΔX) e (ΔY).

$$\Delta X_{\overrightarrow{12}} = X_2 - X_1 = -35{,}263 - (-23{,}973) = \ 11{,}290\ m$$
$$\Delta Y_{\overrightarrow{12}} = Y_2 - Y_1 = \ 22{,}688 - (-15{,}060) = \ 37{,}748\ m$$

$$\Delta X_{\overrightarrow{23}} = X_3 - X_2 = \ 71{,}989 - (-35{,}263) = 107{,}252\ m$$
$$\Delta Y_{\overrightarrow{23}} = Y_3 - Y_2 = \ 22{,}833 - (22{,}688) = 0{,}145\ m$$

$$\Delta X_{\overrightarrow{34}} = X_4 - X_3 = \ 76{,}193 - (71{,}989) = \ 4{,}204\ m$$
$$\Delta Y_{\overrightarrow{34}} = Y_4 - Y_3 = \ -13{,}317 - (22{,}833) = \ -36{,}150\ m$$

$$\Delta X_{\overrightarrow{41}} = X_1 - X_4 = \ -23{,}973 - (76{,}193) = -100{,}166\ m$$
$$\Delta Y_{\overrightarrow{41}} = Y_1 - Y_4 = \ -15{,}060 - (-13{,}317) = \ -1{,}743\ m$$

Sexto, com as coordenadas parciais entre os pontos, calcula-se a Distância Horizontal (DH) entre os pontos, pelo Teorema de Pitágoras.

$$DH_{12} = \sqrt{(\Delta X_{\overrightarrow{12}})^2 + (\Delta Y_{\overrightarrow{12}})^2} = \sqrt{(11{,}290)^2 + (37{,}748)^2} = 39{,}400\ m$$

$$DH_{23} = \sqrt{(\Delta X_{\overrightarrow{23}})^2 + (\Delta Y_{\overrightarrow{23}})^2} = \sqrt{(107{,}252)^2 + (0{,}145)^2} = 107{,}252\ m$$

$$DH_{34} = \sqrt{(\Delta X_{\overrightarrow{34}})^2 + (\Delta Y_{\overrightarrow{34}})^2} = \sqrt{(4{,}204)^2 + (-36{,}150)^2} = 36{,}394\ m$$

$$DH_{41} = \sqrt{(\Delta X_{\overrightarrow{41}})^2 + (\Delta Y_{\overrightarrow{41}})^2} = \sqrt{(-100{,}166)^2 + (-1{,}743)^2} = 100{,}181\ m$$

Sétimo, soma-se 100 m para cada coordenada, para evitar números negativos (Tabela 5).

Tabela 5 - Obtenção das cotas de cada ponto da poligonal

Ponto	X (m)		Y (m)	
1	-23,973	76,027	-15,060	84,940
2	-35,263	64,737	22,688	122,688
3	71,989	171,989	22,833	122,833
4	76,193	176,193	-13,317	86,683

Nono, calcula-se a área do piquete (Tabela 6).

Tabela 6 – Cálculo da área da poligonal pelo método de Gauss

Ponto	Y*X	X	Y	X*Y
1	-	76,027	84,94	-
2	5498,761	64,737	122,688	9327,601
3	21100,986	171,989	122,833	7951,840
4	21642,315	176,193	86,683	14908,522
1	6590,248	76,027	84,94	14965,833
	ΣYX = 54.832,310			ΣXY = 47.153,796

$$Área_{1234} = \frac{|(47.153{,}796) - (54.832{,}310)|}{2} = 3.839{,}257\ m^2$$