

	TOPOGRAFIA II		
	Aula teórica 08: Método de obtenção de curvas de nível		
	Prof. Dr. Alexandre Bernardino Lopes		

MÉTODO DE OBTENÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL

Conteúdo em vídeo

Parte 1 - <https://youtu.be/C3SugHfkDbQ>

Parte 2 - https://youtu.be/TJSU5_PV7_g

Parte 3 - <https://youtu.be/YrD5Vcv-dLs>

Introdução

A obtenção de curvas de nível requer levantamentos de campo e processos de interpolação, ou seja, é necessário gerar um modelo de terreno.

Atualmente usa-se o termo MDT (Modelo Digital de Terreno) devido ao uso de ferramentas computacionais tanto na obtenção (equipamentos de fornecem dados digitais, interpolação e análises estatísticas) quanto na forma de armazenar e representar (mapas de cores, curvas de nível ou representações 3D).

Além da Topografia convencional, outras técnicas de levantamentos de campo são muito utilizadas em diversas aplicações, tanto em pequena como em grande escala. Entre estes métodos podemos destacar:

1. SRTM - O sistema SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) é utilizado em grandes áreas, seus dados são disponibilizados gratuitamente (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), entretanto não apresenta boa precisão altimétrica. Uma aplicação para o uso do SRTM pode ser verificado em ARAÚJO et al. (2019);
2. GNSS - O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é amplamente empregado na engenharia. Um exemplo de aplicação é visto em SILVA, 2017 que gerou Modelos Digitais de Elevação (MDE) para o estudo de cotas de inundação;
3. Fotogrametria – Pode ser utilizada em grande escala. Em DIAS (2013) a técnica foi usada para geração de modelos de elevação aplicado à elaboração de uma carta de aterros;
4. *Laser Scanner* – Embora o equipamento é de alto custo o método fornece uma nuvem de pontos capaz de reproduzir com alta resolução o relevo do terreno. Algumas aplicações podem ser vistas em FERRAZ, 2016;
5. LiDAR – O sistema LiDAR (*Light Detection And Ranging*) é uma técnica baseada na utilização de perfiladores laser aerotransportados que gera uma nuvem de pontos que permite a representação do relevo com muito detalhe. Em SILVA, 2016 foi avaliado a acurácia dos métodos VANT, GNSS e LiDAR para o cálculo de volume.

As ferramentas computacionais mudaram também a forma de interpolar dados topográficos. Todos os *softwares* utilizados em Topografia possuem recursos de interpolação e representação do relevo, fornecendo para o profissional agilidade e qualidade no processo. Também existem inúmeros *softwares* utilizadas no geoprocessamento que realizam interpolações.

Apesar de todas as possibilidades de levantamento e processamento de dados será visto três técnicas para obtenção de curvas de nível em Topografia. Nos estudos destes métodos serão discutidos alguns fundamentos importantes na obtenção das curvas de nível que o profissional deve dar atenção.

Métodos topográficos de campo

Os métodos para obtenção de curva de nível em campo são:

1. Método da quadriculação;
2. Método da irradiação;
3. Método das seções transversais.

Método da quadriculação

O método da quadriculação é preciso, porém demorado, podendo ser aplicado em pequenas áreas. É aplicado em algumas situações específicas como sistematização de terreno (COMASTRI & TULER, 1999).

Em campo procede-se da seguinte forma:

1. Fazer a quadriculação do terreno, estaqueando os vértices;
2. Realizar o nivelamento para obter as cotas de cada estaca.

A Figura mostra a disposição das estacas no processo de quadriculação.

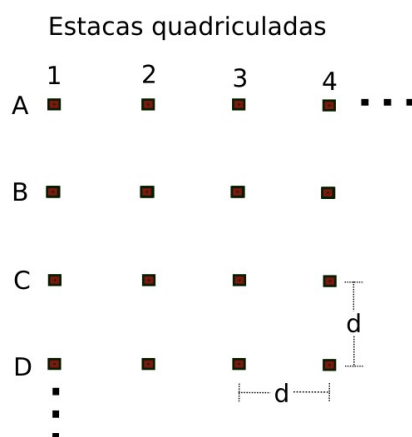


Figura 01 – Método da quadriculação.

O valor de d que é a distância entre as estacas depende da precisão requerida e da sinuosidade do terreno.

Método da irradiação.

No método da irradiação (Figura 02) não é necessário quadricular e estaquear, os pontos são levantados aleatoriamente e a quantidade e distribuição destes pontos depende da topografia do terreno. É um processo mais rápido comparado com o método da quadriculação.

Dependendo do terreno (tamanho, topografia) escolhe-se o equipamento mais adequado (níveis, teodolitos ou estações totais).

Em campo obedece-se ao seguinte procedimento:

1. Levantamento das poligonais, principais e secundárias;

2. Nivelamento das poligonais;
3. Levantamento das irradiações.

Neste procedimento o profissional deve ter em mente que uma boa representação do terreno depende do número de pontos levantados bem como da distribuição destes pontos. Assim, o planejamento das poligonais é importante para atender a estes quesitos. O método pode ser melhor detalhado em BORGES, 1992, páginas 50, 51, 52, 53, 54 e 55.

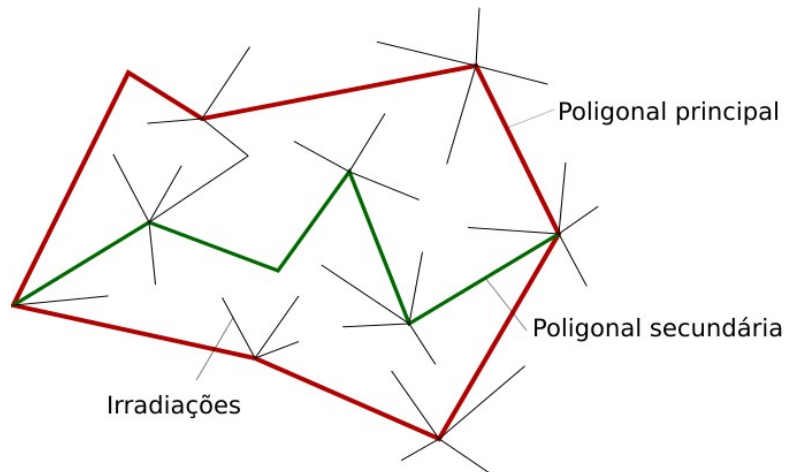


Figura 02 – Método da irradiação.

Método das seções transversais.

O método das seções transversais é usado para obtenção de curvas de nível em faixas, ou seja, terrenos com pequenas larguras e longos comprimentos. Este método é muito aplicado em projetos de linhas de transporte (estradas, ferrovias, etc).

No caso de projetos de estradas é comum distância entre as seções de 20 metros (BORGES, 1992). A Figura 03 mostra o método das seções transversais.

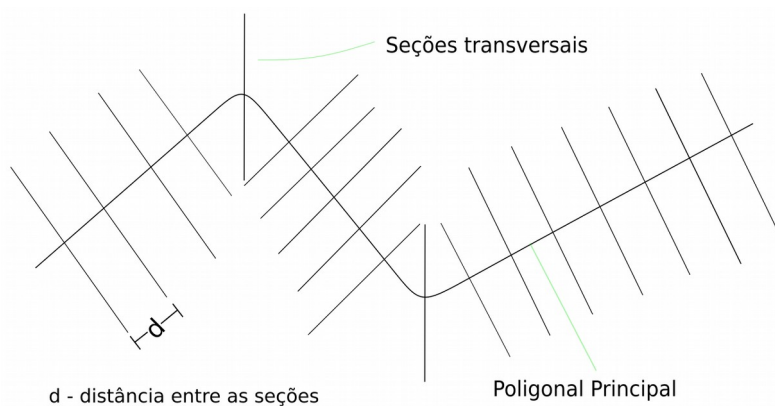


Figura 03 – Método das seções transversais.

Interpolação

O processo de interpolação é necessário para o traçado de curvas de nível. Embora existam inúmeros métodos de interpolação que podem ser processados em *softwares* especializados será mostrado aqui os métodos mais simples que podem ser empregados sem auxílio de computadores.

Interpolação gráfica e numérica

Na interpolação gráfica deve-se determinar o valor das cotas inteiras entre dois pontos. Este processo pode ser feito com réguas e escalímetros.

O ponto D, mostrado na Figura 04, é o lugar geométrico que possui cota inteira. Pode ocorrer mais cotas inteiras entre dois pontos e a determinação dos locais onde elas se encontram podem ser determinados com mesmo raciocínio, embora sua determinação dependa da equidistância entre as curvas de nível

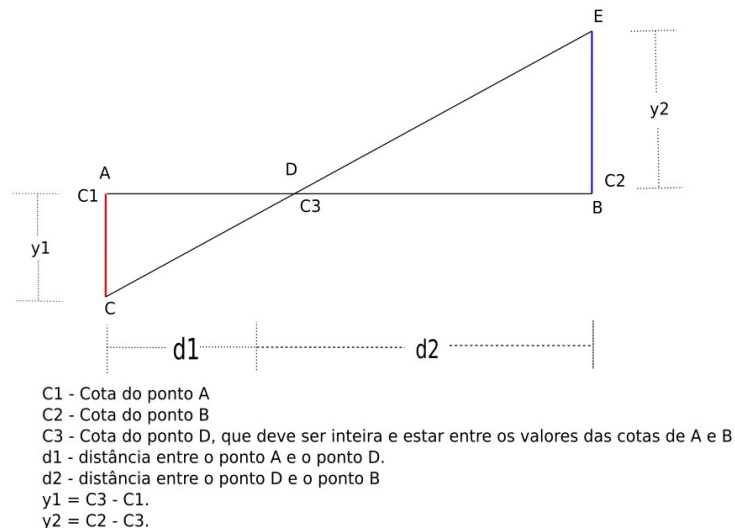


Figura 04 – Interpolação gráfica.

Para determinar o lugar geométrico do ponto D graficamente, basta medir o valor de $y1$ e $y2$, e traçar uma reta entre os pontos C e o ponto E. O local onde a reta CE cruza com a reta AB é o lugar onde ocorre a cota inteira. A Figura 05 exemplifica o processo.

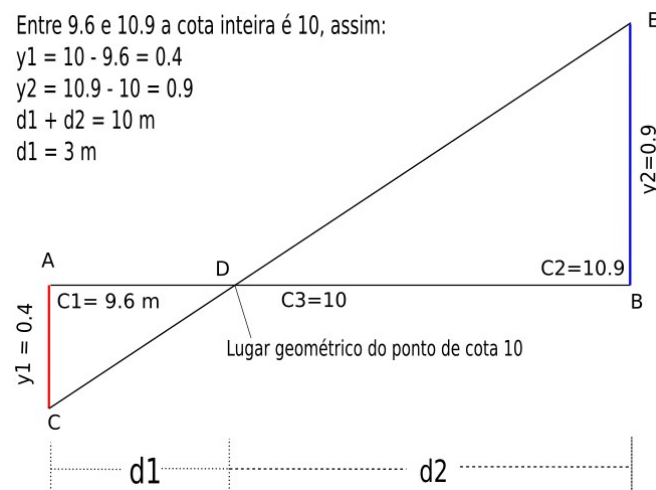


Figura 05-Exemplo de interpolação gráfica.

Um exemplo de interpolação numérica é baseada no princípio da semelhança de triângulo. Utilizando o exemplo da Figura 04 o lugar geométrico do ponto de cota inteira ($d1$) é dado por:

$$\frac{d_1}{y_1} = \frac{(d_1 + d_2)}{(y_1 + y_2)} \rightarrow d_1 = \frac{y_1 * (d_1 + d_2)}{y_1 + y_2} \quad (1)$$

A interpolação gráfica ou numérica pode ser utilizada em malhas quadriculadas e triangulares.

Malhas triangulares

Na interpolação de pontos aleatórios (resultado de um levantamento pelo método da irradiação) é conveniente utilizar *softwares* específicos, que além da interpolação linear, oferece opções como krigagem, vizinho mais próximo, IDW, *spline* e outros.

No caso de pontos aleatórios é necessário a criação de uma malha triangular que deve seguir algumas regras básicas:

1. Somente interpolar pontos imediatamente próximos;
2. Não cruzar direções de interpolação;
3. Não passar uma direção de interpolação próximo de pontos de cotas conhecidas. A Figura 06 ilustra os casos que devem ser evitados.

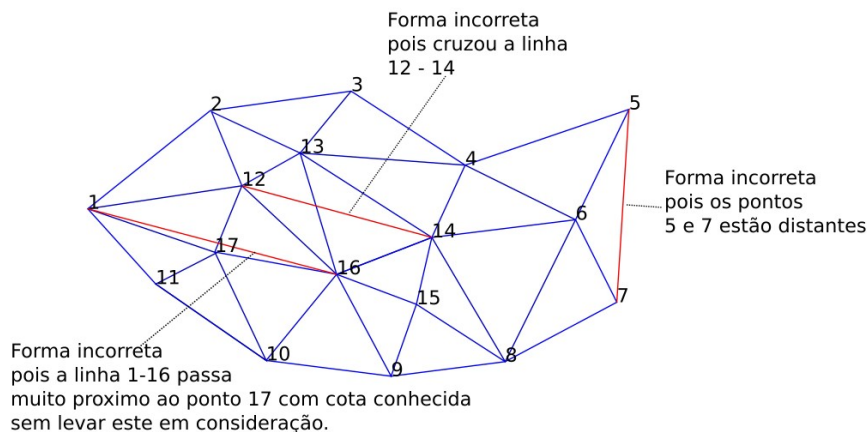


Figura 06 – Casos que devem ser evitados em interpolação na triangulação de pontos aleatórios

(Fonte: Adaptada de BORGES, 1992)

A determinação das cotas entre os pontos da malha pode ser por interpolação numérica ou até gráfica, sendo esta última atualmente em desuso.

Ambiguidades na representação das curvas de nível

Em algumas situações podem ocorrer ambiguidades conforme ilustra a Figura 07. Neste caso o terreno o profissional deve providenciar informações para que a representação do terreno seja fidedigna.

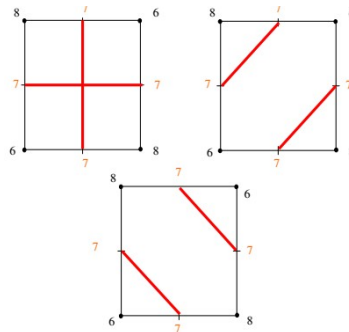


Figura 07 – Ambiguidade em malhas quadradas.
(Fonte: VEIGA, ZANETTI, FAGGION, 2012)

Nas malhas triangulares estas ambiguidades são evitadas.

Traçado de curvas de nível.

O traçado de curvas de nível também obedece a algumas regras como:

1. Devem ser traçadas com linhas contínuas;
2. Não deve haver mudanças bruscas de direção;
3. Curvas de nível nunca se cruzam ou se encontram;
4. Em casos em que as curvas não sejam representativas deve ser feito uma revisão nas malhas e métodos de interpolação.

Exercícios

1) Considere os pontos apresentados na Figura 08 e os dados da Tabela 01 e encontre o lugar geométrico de cotas inteiras. Plote as curvas de nível.

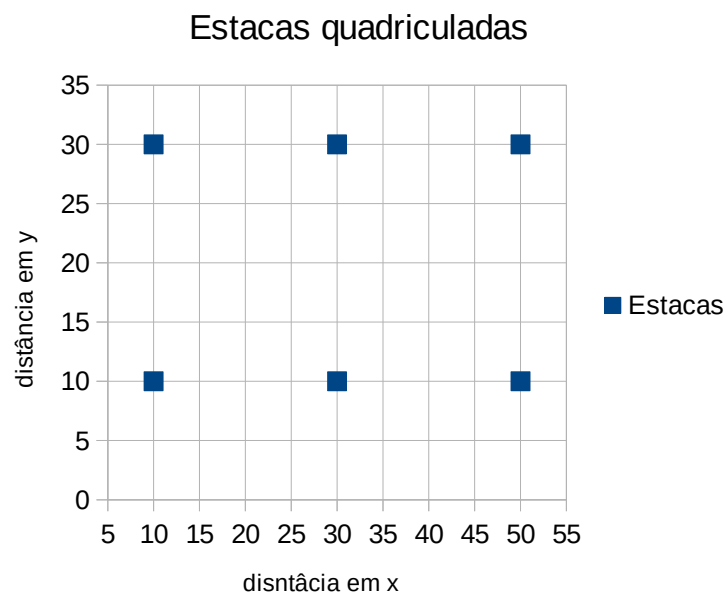


Figura 08 – Localização de estacas.

Tabela 01 – Cotas

Estaca	Coordenada	cotas
E1	10-10	11,6
E2	10-30	10
E3	30-10	13
E4	30-30	11,2
E5	50-10	14,6
E6	50-30	12,6

Resposta.

Para determinar as distâncias de cotas inteiras deve-se utilizar a equação (1)

Tabela 02 – Distâncias do local de cotas inteiras.

Alinhamentos	Nº de interpolações	Estaca referencia	Cota inteira	Distância da estaca de referencia
E1-E2	1	E1	11	7,50
E1-E3	1	E1	12	5,71
E2-E4	1	E2	11	16,67
E3-E4	1	E3	12	11,11
E3-E5	1	E3	14	12,50
E4-E6	1	E4	12	11,43
E5-E6	2	E5	13	16,00
E5-E6	2	E5	14	6,00

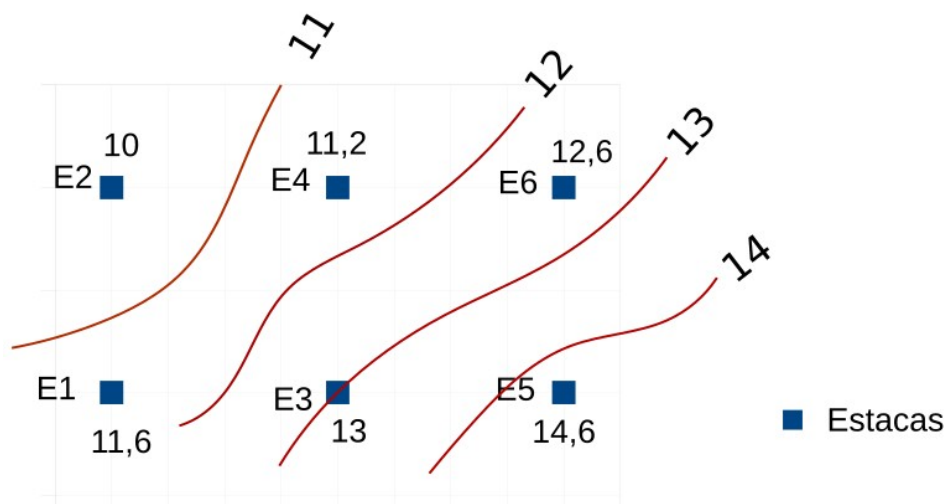


Figura 09 – Interpolação de curvas de nível.

Exercício sugerido

2) Fazer o exercício da página 69 do livro:

BORGES, A. C. Exercícios de topografia. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013

4 – BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, P. V. N.; AMARO, V. E.; SILVA, R. M.; LOPES, A. B. Delimitation of flood areas based on a calibrated a DEM and geoprocessing: case study on the Uruguay River, Itaiqui, southern Brazil. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, v. 19, p. 237-250, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Execução de levantamento topográfico, NBR 13133 Rio de Janeiro, 1994.

BORGES, Alberto C. *Topografia Aplicada à Engenharia Civil*. 1ª Ed. Vol 2. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 232p. 1992

BORGES, A. C. *Exercícios de topografia*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013

COMASTRI, J.A. & TULER, J.C.; *Topografia: altimetria*, 3. ed. Viçosa; Impr. Univ. UFV, 1999. 200 p.

DIAS, P. M. R. C. *Elaboração de uma Carta de Aterros da Cidade de Lisboa por LiDAR e Fotogrametria Aérea*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. 2013

FERRAZ, R. S.; SOUZA, S. F.; REIS, M. L. L. *Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática*. *Rev. Bras. Geom.*, v.4, n. 2, p.99-109. 2016

SILVA, R. M. *Proposta de metodologia para definição de um modelo digital de elevação para monitoramento de áreas de inundação*. Dissertação de mestrado. Unipampa, 2017.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. Silva; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. *Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR*. *Boletim de Ciências Geodésicas (Online)*, v. 22, p. 73-94, 2016.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. *Fundamentos de Topografia. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura*. Universidade Federal do Paraná. UFPR. 2012.

Leituras complementares

MCCORMAC, J. *TOPOGRAFIA*. 5ª. EDIÇÃO. EDITORA LTC. RIO DE JANEIRO, 2010.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. *Fundamentos de Topografia – Material de Apoio para a disciplina de Topografia II do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da UFPR: altimetria, locação e levantamento planialtimétrico*. Universidade Federal do Paraná. UFPR, 2014.

BORGES, Alberto C. *Topografia Aplicada à Engenharia Civil*. 2ª Ed. Vol 1. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 191p. 1977.