



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - ECV

APOSTILA DE TOPOGRAFIA II

Professores:

Vivian da Silva Celestino Reginato
Cláudio Cesar Zimmermann

Monitora:

Geovana Viviani de Araujo

Florianópolis, agosto de 2020



SUMÁRIO

1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	5
2. ALTIMETRIA	9
2.1 Superfícies de Referência	9
2.2 Influência da curvatura terrestre e refração atmosférica nos nivelamentos	12
2.2.1 Erro de Nível Aparente	15
2.3 Altitude, cota, diferença de nível e declividade	17
2.4 Instrumentos para Nivelamento	19
2.4.1 Plano de visada horizontal	19
2.4.2 Plano de visada com inclinação	21
2.4.3 Acessórios	22
2.4.4 Barômetros e Altimetros	23
3. NIVELAMENTO	25
3.1 Nivelamento Geométrico	26
3.1.1 Nivelamento Geométrico Simples	29
3.1.2 Nivelamento Geométrico Composto	32
3.1.3 Erro no Nivelamento Geométrico	36
4. REPRESENTAÇÃO ALTIMÉTRICA	42
4.1 Pontos Cotados	44
4.2 Curvas de Nível	45
4.2.1 Métodos de interpolação e traçado de curvas de nível	49
4.3 Perfis longitudinais e transversais	51
4.3.1 Perfil longitudinal	53
4.3.2 Perfil Transversal	54
4.4 Modelo Digital de Elevação (MDE)	56
5. PLANIALTIMETRIA	61
5.1 Nivelamento Trigonométrico	61
5.1.1 Erro Zenital	65
5.1.2 Gramometria	66
5.2 Taqueometria	72
5.2.1 Procedimentos para realizar levantamento taqueométrico	76
6. REDES GEODÉSICAS	78
6.1 Referências de Nível	79



7. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)	81
7.1 Global Positioning System (GPS)	82
7.1.1 Métodos de posicionamento GPS	89
7.2 Nivelamento GNSS	92
7.2.1 Método relativo para determinação de altitudes ortométricas	95
8. LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS	100
8.1 Hidrometria	100
8.2 Batimetria	102
8.1 Equipamentos e métodos para batimetria	104
9. RECALQUE	106
9.1 Tipos de recalques	108
9.2 Causas de recalque	109
9.3 Monitoramento e avaliação de recalques	109
9.4 Deformações admissíveis	111
9.5 Plano de instrumentação e observação	111
9.6 Controle de recalques	112
9.7 Métodos de monitoramentos	113
9.7.1 Determinação de Deslocamento Horizontal de Grandes Estruturas	114
9.7.2 Procedimentos operacionais para monitoramento de recalque	117
10. LOCAÇÃO DE OBRAS	122
10.1 Métodos geométricos de locação de obras	126
10.1.1 Uso de gabarito de madeira	127
10.1.2 Locação com teodolitos	128
10.2 Métodos analíticos de locação de obras	129
10.3 Locação de Túneis	129
10.1.1 Locação de Túneis por Poligonal	129
10.1.2 Locação de Túneis por Triangulação	130
10.3 Locação de Eixos de Pontes	132
10.4 Locação de Estradas	135
11. CÁLCULO DE ÁREAS E VOLUMES	136
11.1 Cálculo de áreas pela fórmula de Gauss	138
11.2 Cálculo de Volumes a partir de seções transversais do terreno	140
11.2.1 Método da formula trapezoidal ou Método de Bezout	141
11.2.2 Método da fórmula prismoidal ou Regra de Simpson	142



11.2.3 Cálculo de volume em trechos curvos	143
11.3 Cálculo de volume a partir de troncos de prismas de pontos cotados	144
11.4 Cálculo de volume a partir de superfícies geradas por curvas de nível	145
11.5 Cálculo de volume a partir de modelos digitais de terreno	146
11.6 Cota ou Altitude de passagem	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149



1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Esta apostila foi elaborada para servir de apoio às aulas de Topografia II oferecida aos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Produção Civil da UFSC. Todas as ilustrações apresentadas sem fonte foram produzidas pelos próprios autores.

Antes de iniciar o estudo da Altimetria é necessário relembrar a definição de Topografia. Conceitualmente a Topografia se encarrega da obtenção e representação de dados relativos à superfície terrestre em um plano horizontal de referência. Conforme Espartel (1965) a **Topografia** tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre.

Ao se projetar qualquer obra de engenharia, arquitetura ou agronomia, se impõe o prévio levantamento topográfico do lugar onde a mesma deverá ser implantada; daí a importância da Topografia, que se incumbe do levantamento ou medição, que deverá ser precisa e adaptada ao terreno.

Fazer um levantamento é proceder a todas as operações necessárias para alcançar os objetivos da Topografia, isto é, a medição de ângulos e distâncias e a execução dos cálculos e desenhos indispensáveis para representar, fielmente, no papel os elementos colhidos no terreno (ESPARTEL, 1965).

A Topografia é uma ciência aplicada, baseada na geometria e na trigonometria, de âmbito restrito, pois é um capítulo da Geodésia, que tem por objeto o estudo da forma e dimensões da Terra. De acordo com Gemael (1999) **Geodésia** é a ciência que estuda a forma, a dimensão e o campo de gravidade da Terra.

A Geodésia se ocupa dos processos de medida e especificação para o levantamento e representação cartográfica de uma grande extensão da superfície terrestre, projetada numa superfície de referência, geométrica e analiticamente definida por parâmetros, variáveis em número, de acordo com a consideração sobre a forma da Terra.

A Geodésia, que determina com precisão as malhas triangulares justapostas à superfície do elipsoide de revolução terrestre determinando as cordenas de seus vértices, é uma ciência que abrange o todo, ao passo que a Topografia se ocupa do detalhe de cada malha ou quadrícula e, admitindo-a plana, adota processos da geometria e trigonometria planas, com ligação às coordenadas de referência determinadas geodesicamente (ESPARTEL, 1965).



Didaticamente, de acordo com Tuler e Saraiva (2016), a Geodésia pode ser dividida por conteúdos em:

- **Geodésia geométrica:** quando trata da obtenção e transporte de coordenadas;
- **Geodésia física:** quando trata dos estudos do campo de gravidade;
- **Geodésia espacial ou celeste:** quando trata dos levantamentos orbitais dos tipos *Global Navigation Satellite System (GNSS)* e *Global Positioning System (GPS)*.

A Topografia é muitas vezes confundida com a Geodésia pois se utiliza dos mesmos equipamentos e métodos para realizar o mapeamento da superfície terrestre. Porém, enquanto a Topografia tem por finalidade mapear uma pequena porção da superfície terrestre (área de raio até 10km), de forma a considerá-la como um plano, a Geodésia, tem por finalidade, mapear grandes porções desta mesma superfície, levando em consideração as deformações devido à sua esfericidade. Portanto, pode-se afirmar que a Topografia, menos complexa e restrita, é apenas um capítulo da Geodésia, ciência muito mais abrangente.

Dentre os levantamentos geodésicos e topográficos, é possível utilizar operações geométricas (medidas angulares e lineares) típicas da Topografia, ou técnicas baseadas em fenômenos físicos (por exemplo, valer-se de medidas gravimétricas para conhecimento do campo de gravidade), típicas da Geodésia e, mais recentemente, satélites artificiais do tipo GNSS (com amparo de aspectos geométricos e físicos) para avaliar grandezas.

É o que ocorre em muitos projetos de engenharia onde as coordenadas dos pontos de apoio às grandes obras podem ser obtidas por diferentes métodos de forma integrada, envolvendo tanto a topografia (em um terreno plano), quanto a geodésia (considerando a curvatura terrestre). Independentemente do tipo, elas devem estar referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

A construção de grandes obras, como estradas, barragens, túneis, grandes pontes, dutos e linhas de infraestrutura está vinculada a pontos de controle que possuem suas coordenadas geodésicas ou Universal Transversa de Mercator (UTM), em geral obtidas pelo receptor GPS. Em grandes indústrias (siderúrgicas, mineradoras, petrolíferas, etc.) há o



assentamento de divisas ou de componentes estruturais em locais predeterminados, também com suas coordenadas geodésicas. (TULER E SARAIVA, 2016).

Na disciplina de Topografia I são apresentados os conceitos de projeções cartográficas, onde a projeção UTM se insere e os conceitos acerca dos levantamentos orbitais do tipo GNSS e GPS.

De acordo com Espartel (1965) a Topografia se incumba da representação, por uma projeção ortogonal cotada, de todos os detalhes da configuração do solo, mesmo que se trate de detalhes artificiais: canais, estradas, cidades e vilas, construções isoladas, etc. Esta projeção se faz sobre uma superfície de nível, isto é, sobre uma superfície definida pela propriedade de ser, em cada um de seus pontos, normal à direção da gravidade: as projetantes dos diversos pontos a representar são pois as verticais destes pontos. A esta projeção ou imagem figurada de terreno dá-se o nome de planta ou plano topográfico.

A Topografia propriamente dita compreende a **Topometria**, ou ciência de medir no terreno os elementos necessários a produção da carta ou planta, compreendendo tanto a parte planimétrica, como a altimétrica; e o **Desenho Topográfico**, ou a arte de construir com precisão uma planta que corresponda fielmente ao levantamento realizado, com todos os detalhes existentes na data do trabalho de campo. Torna-se ainda necessário reunir o conhecimento de outra ordem de assunto indispensável a um bom e criterioso trabalho topográfico, que é a **Topologia** (ESPARTEL, 1965). Sendo assim, ao conjunto de métodos empregados para colher os dados necessários para o traçado da planta dá-se o nome de **Topometria**, sendo que esta estuda os processos clássicos de medição de distâncias, ângulos e desníveis, cujo objetivo é a determinação de posição relativa de pontos. Encarrega-se, portanto, da medida de grandezas lineares e angulares, quer seja no plano horizontal, quer seja no plano vertical. A Topometria se divide em:

- **Planimetria:** determina a posição relativa planimétrica de pontos (coordenadas X, Y); é a representação em projeção horizontal dos detalhes existentes na superfície;



- **Altimetria ou Nivelamento:** determina a cota ou altitude de um ponto (coordenada Z); determina as cotas ou distâncias verticais de um certo número de pontos referidos ao plano horizontal da projeção; permite fixar, por meio de cotas ou quaisquer sinais convencionais, o relevo do terreno, isto é, a expressão exata de sua forma;
- **Planialtimetria:** determina a posição de pontos considerando os planos horizontal e vertical, ou seja, é a representação de pontos em 3 dimensões (X, Y e Z).

A **Topologia** é o estudo das formas e leis que regem a formação e o modelado do terreno, ou seja, as formas anatômicas ou exteriores da Terra. Em Topografia a aplicação da Topologia é dirigida para a representação do relevo em planta, através da técnica dos pontos cotados e das curvas de nível. Assim, de acordo com Espartel (1965), um bom trabalho topográfico deve compreender três partes distintas (ver Figura 01), a saber:

- **Topometria:** parte matemática
- **Topologia:** parte interpretativa
- **Desenho Topográfico:** parte artística

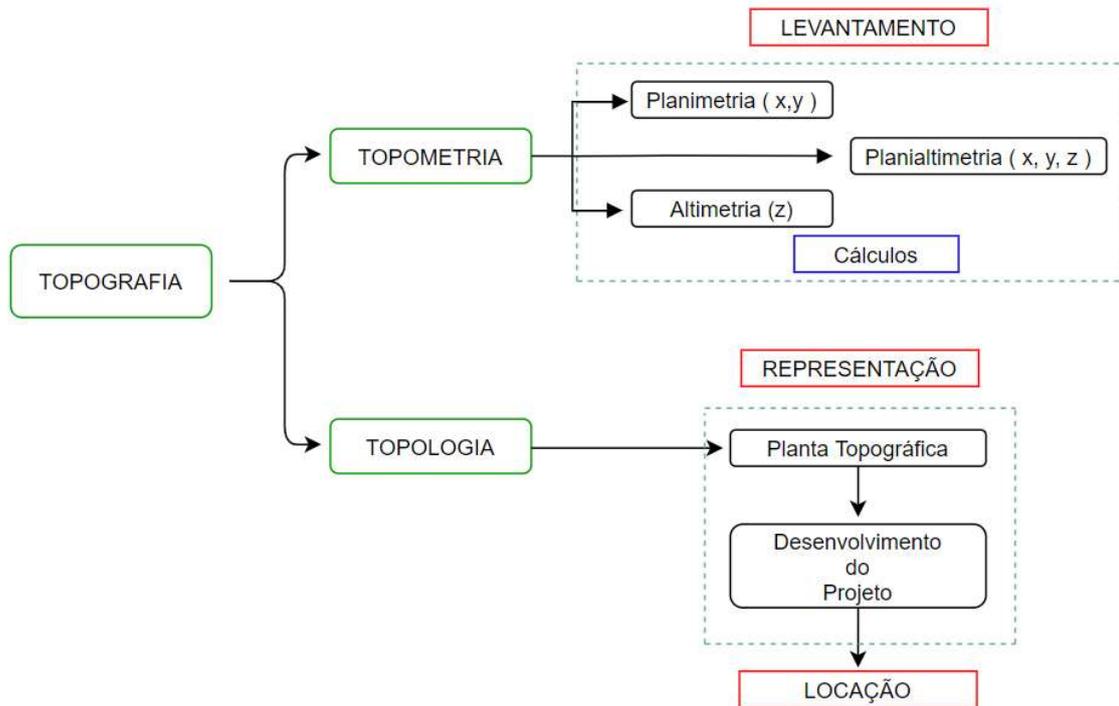


Figura 01: Divisão da Topografia

2. ALTIMETRIA

De acordo com Espartel (1965) a altimetria ou hipsometria tem por objetivo medir a distância vertical ou diferença de nível (DN) entre diversos pontos. A altimetria trata dos métodos e instrumentos topográficos empregados no estudo e na representação do relevo do terreno.

Com esse objetivo, as medidas são efetuadas considerando um plano vertical, obtendo-se distâncias verticais em campo (TULER E SARAIVA, 2016). De acordo com os autores o princípio fundamental para o estudo da altimetria é a materialização de superfícies de referências de nível que sirvam de comparação entre os vários pontos do terreno e as alturas advindas dessas referências, como a altitude ou a cota.

2.1 Superfícies de Referência

As obras de engenharia (rodovias, ferrovias, barragens, canalizações e dutos, edificações em geral, loteamentos, etc.) são concebidas na superfície física

da Terra. Nos levantamentos geodésicos e topográficos, para posicionamento planimétrico e altimétrico, três superfícies devem ser consideradas (ver Figura 02):

- **Superfície Topográfica, Superfície Física da Terra, Plano Topográfico:** onde são efetuadas as operações geodésicas e topográficas (nivelamento), ou seja, onde são executados os levantamentos de campo e apoiadas as obras de engenharia. É uma superfície irregular devido a variação do relevo terrestre;
- **Geoide:** superfície física equipotencial do campo de gravidade. Obtida pelo prolongamento do Nível Médio dos Mares (NMM) não perturbado através dos continentes, é uma figura bem definida fisicamente, porém de difícil materialização matemática, por causa de sua irregularidade;
- **Elipsoide de Revolução ou Referência:** superfície matemática definida a partir de dois semieixos, formada pela revolução de uma elipse em torno de seu semieixo menor, onde são referenciados os levantamentos geodésicos planos. Figura com possibilidade de tratamento matemático que mais se assemelha ao geoide.

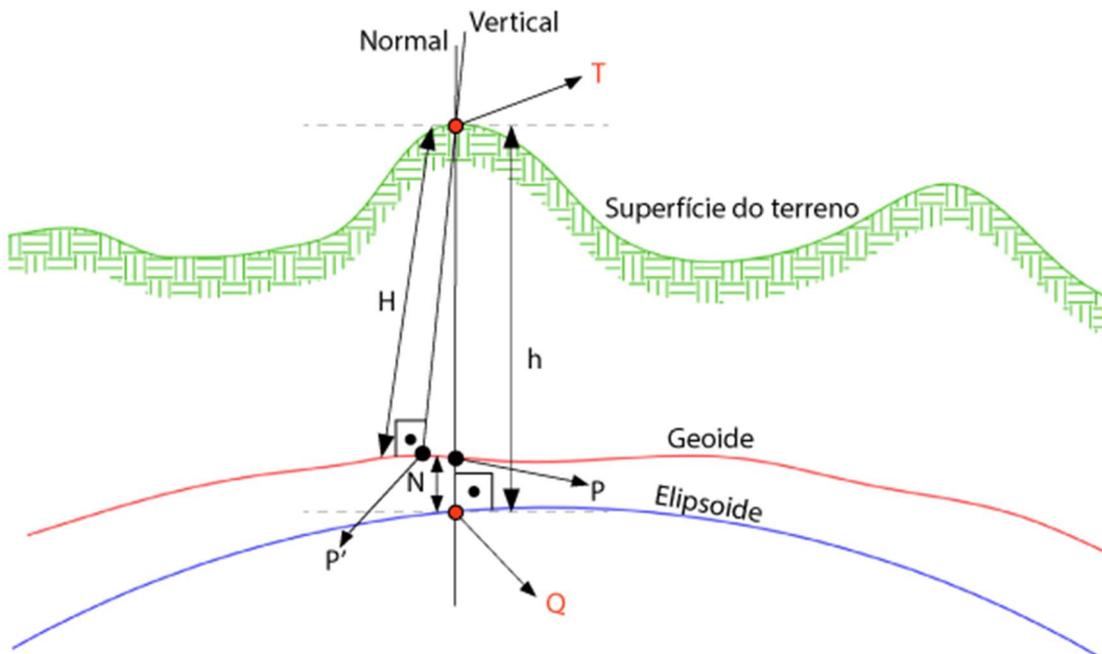


Figura 02: Superfície topográfica, geoide e elipsoide



Para compor um SGB são necessárias duas superfícies, uma matemática realizada através de um elipsoide que possui uma superfície regular (mensurável), e uma física, que possui uma distribuição desigual de massa na superfície terrestre. Esta é a dicotomia de um sistema geodésico e o grande desafio na implantação de obras de engenharia.

De acordo com Tuler e Saraiva (2016):

- **Altura geoidal ou ondulação geoidal (N):** distância entre o elipsoide e o geoide medida ao longo da normal ao elipsoide;
- **Altura elipsoidal ou altitude geométrica (h):** distância entre o elipsoide e o terreno medida ao longo da normal (**n**) ao elipsoide;
- **Altitude ortométrica (H):** distância entre o geoide e o terreno, medida ao longo da linha de prumo ou vertical (**V**).

A **altitude geométrica (h)** é a componente altimétrica obtida em levantamentos GNSS. A **normal** de um ponto (**n**) é uma reta que passa pelo ponto da superfície topográfica e é perpendicular ao elipsoide.

A **altitude ortométrica (H)** acha-se vinculada ao geoide, sendo que a vertical de um ponto (**V**) é uma reta perpendicular à linha de força do campo de gravidade da Terra no ponto (GEMAEL, 1999). Por aproximação pode-se escrever:

$$h \sim N + H$$

Considerando a superfície geoidal uma superfície de referência, ou seja, uma superfície para tomar medidas por comparação, dois pontos estarão no mesmo nível se suas alturas ortométricas forem iguais. Ver Figura 03, onde as altitudes ortométricas dos pontos A, B e C são iguais: $H_A = H_B = H_C$ e as respectivas DN entre eles é nula.

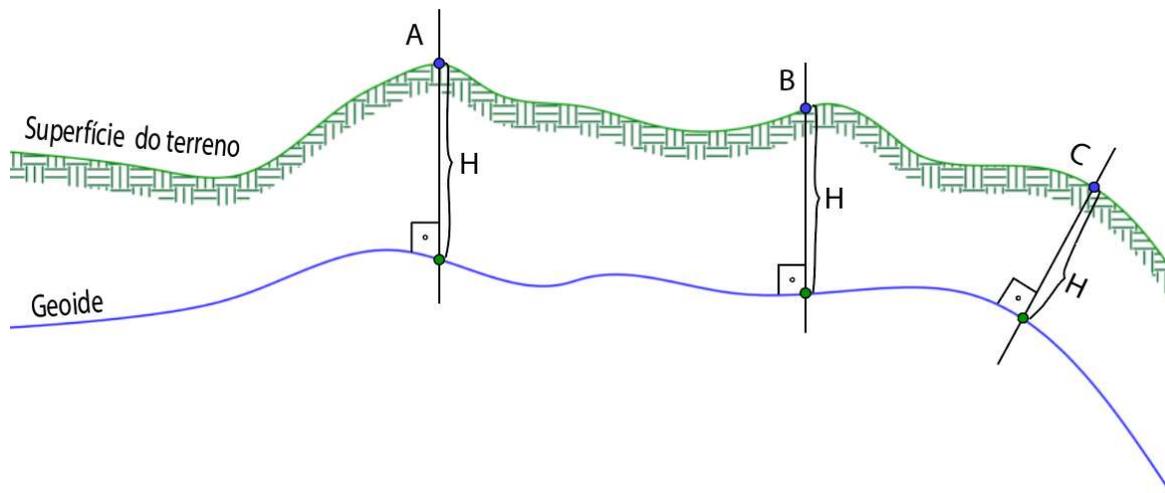


Figura 03: Altitudes ortométricas de pontos

As altitudes geométrica e ortométrica estão relacionadas através da ondulação geoidal ou altura geoidal, sendo necessário o desenvolvimento de um modelo de ondulação geoidal para a integração dessas informações altimétricas. No Brasil essa ondulação permanece em média em torno de 30 metros, sendo que o valor máximo pode chegar a 100 metros.

2.2 Influência da curvatura terrestre e refração atmosférica nos nivelamentos

A curvatura terrestre e as diferentes densidades nas camadas da atmosfera afetam os nivelamentos, principalmente quando as visadas são extensas. Isso é percebido, principalmente, quando estamos à beira mar, observando o horizonte, onde, primeiro se avista o mastro ou a vela de um navio que se aproxima da costa e logo após vemos este navio se aproximando. Essa é uma prova do efeito da curvatura Terrestre. Se a Terra fosse plana veríamos esse navio, primeiramente, distante, mas por completo, como no exemplo da Figura 04.

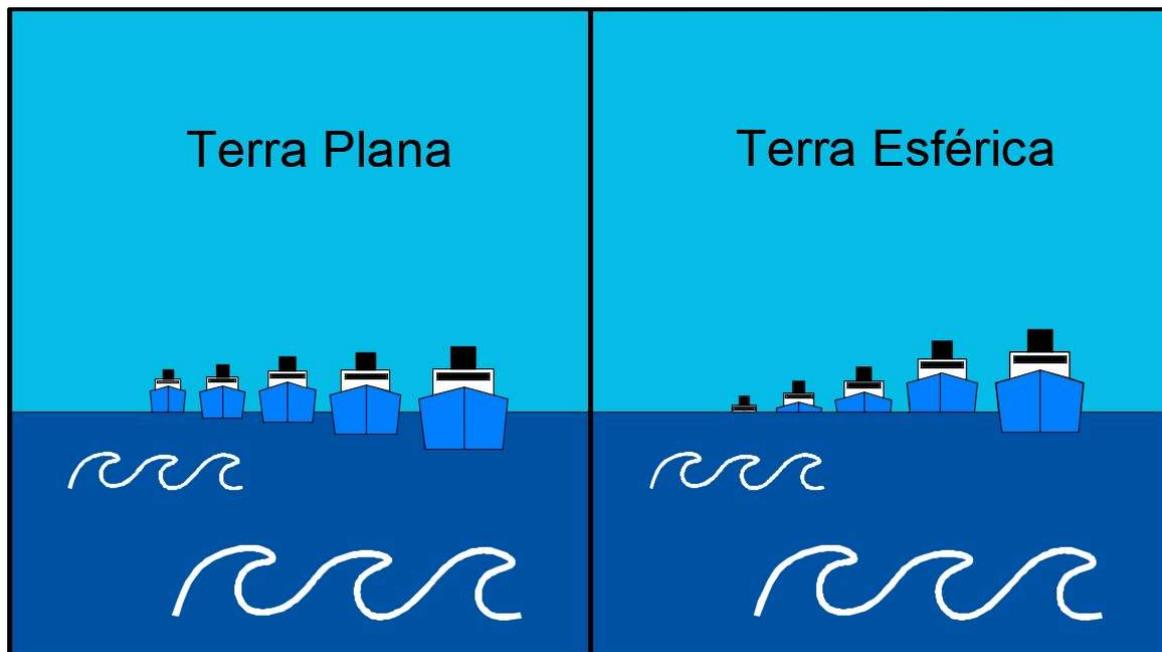


Figura 04: Exemplos de aproximação de corpos considerando a Terra Plana e a Terra Esférica

Pode-se afirmar, de acordo com Silva (2003), que para cada ponto na superfície terrestre correspondem 3 horizontes distintos (ver Figura 05):

- **Horizonte Aparente (H_a):** horizonte tangente à superfície da terra, que corresponde ao plano horizontal topográfico. Sem dúvida é o horizonte que acreditamos enxergar, mas na realidade ele é somente aparente. Se deve ao efeito da curvatura terrestre.
- **Horizonte Ótico (H_o):** horizonte que realmente enxergamos. Se deve ao efeito da refração atmosférica. O raio luminoso ao atravessar as diferentes camadas da atmosfera sofre refração, deslocando-se abaixo da visada retilínea imaginária.
- **Horizonte Verdadeiro (H_v):** horizonte que corresponde à mesma altitude do ponto inicial da visada. Se a terra fosse uma superfície plana, só teríamos o horizonte verdadeiro.

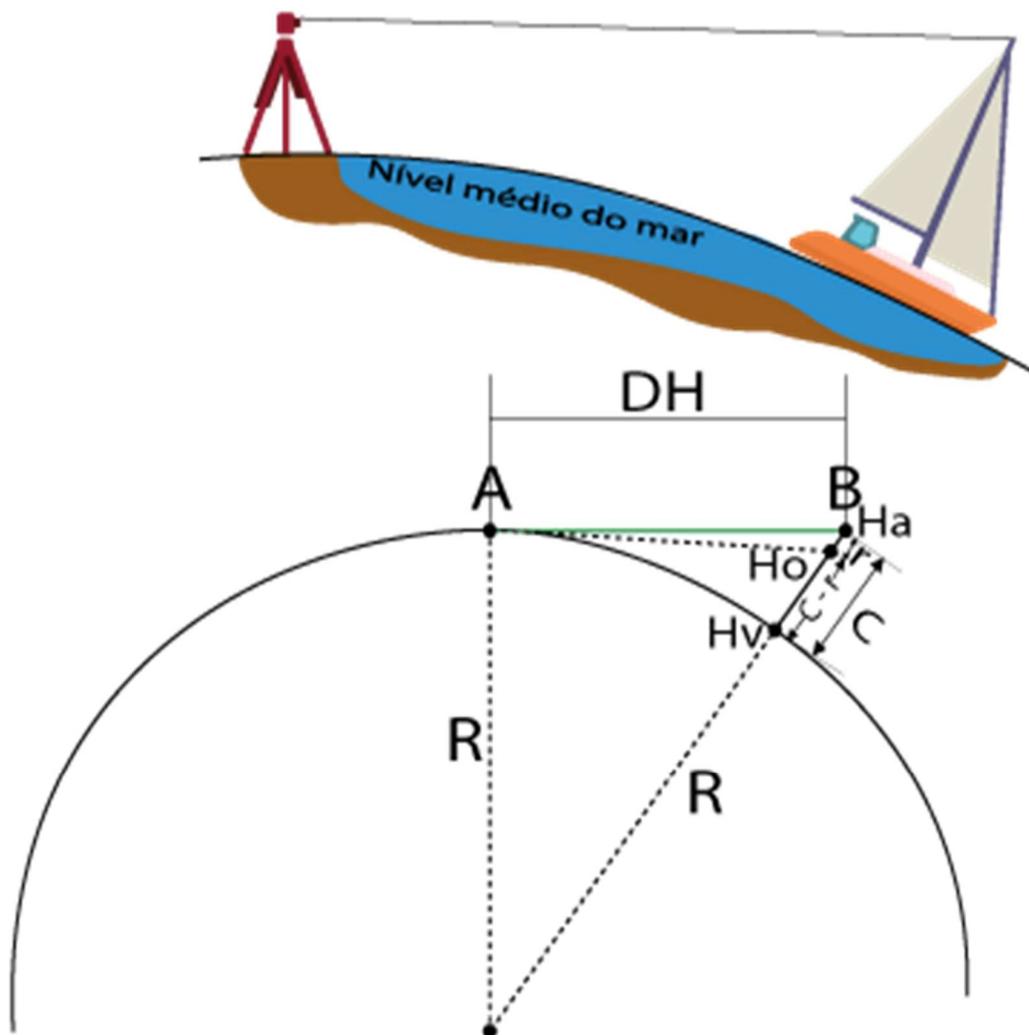


Figura 05: Horizontes aparente (H_a), Ótico (H_o) e Verdadeiro (H_v)

O **Horizonte verdadeiro (H_a)** por ser relacionado ao geóide é denominado de **superfície de referência ideal ou verdadeira ou superfície de nível verdadeira**. Apesar da denominação, ocorrem várias perturbações nessa superfície, como as atrações gravitacionais combinadas da Lua e do Sol (fenômeno das marés). Logo, tal referência se baseia no nível médio dos mares (NMM), sendo determinada por observações de um instrumento denominado marégrafo em um determinado ponto denominado *datum* vertical, por um período de muitos anos, com o propósito de minimizar os efeitos das forças perturbadoras

e, assim, definir uma superfície estável. Em topografia I são apresentados os conceitos de um SGB.

No entanto, de acordo com Tuler e Saraiva (2014), nos trabalhos de topografia, geralmente a materialização da superfície de nível ideal ou verdadeira é substituída pela **superfície de referência aparente ou superfície de nível aparente** (análoga aos horizontes ótico e aparente) que corresponde a um plano paralelo ao plano tangente à superfície de nível ideal ou verdadeira, sendo materializada, na prática, pelo plano horizontal de visada dos instrumentos de nivelamento. Ver Figura 06.

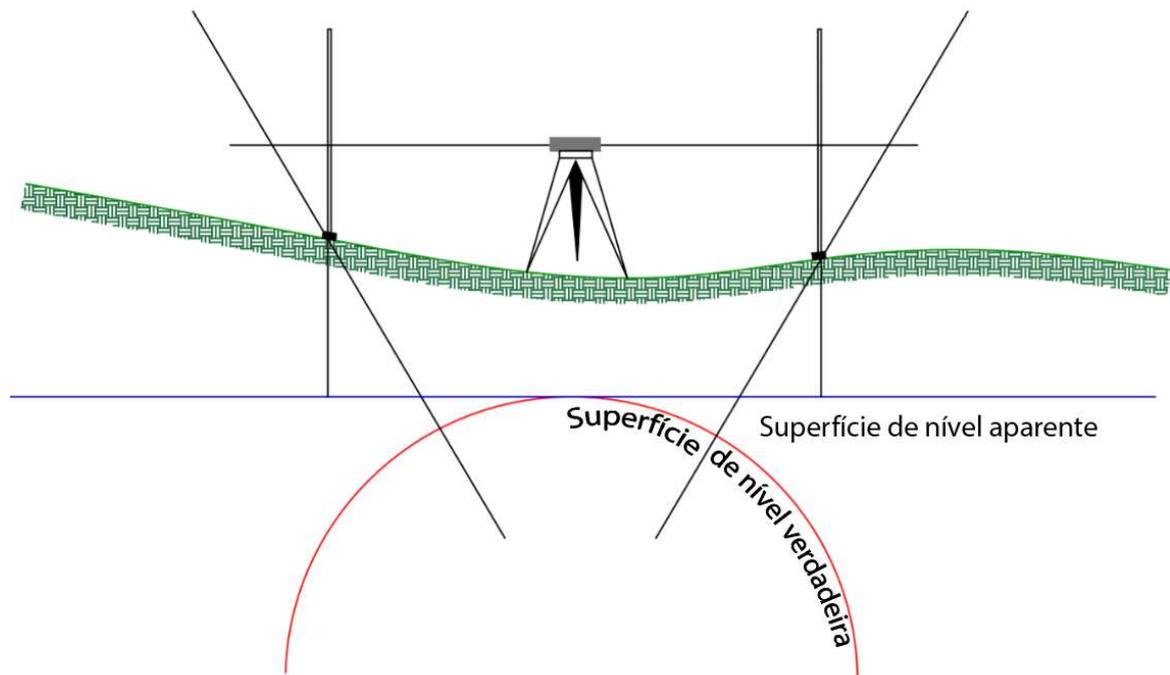


Figura 06: Superfícies de nível verdadeira e aparente

Deve-se distinguir a superfície de referência de nível ideal ou verdadeira e a superfície de referência de nível aparente ou sensível. A primeira é definida pela superfície dos mares (geoide) e a segunda por um plano paralelo ao plano tangente ao geoide, cuja altura entre os planos é arbitrária (ESPARTEL, 1965).

2.2.1 Erro de Nível Aparente

O Erro de Nível Aparente (E_{NA}) é o erro formado pela combinação dos efeitos de refração atmosférica e da curvatura terrestre, ou seja, dos horizontes ótico e aparente.



- a) **Erro de esfericidade:** resultado da substituição da superfície de nível verdadeira pela superfície de nível aparente. É dado por:

$$E_e = D^2 / 2R$$

Onde:

E_e = erro de esfericidade (m)

D = distância entre pontos (m)

R = raio da Terra ~ 6367000 m

- b) **Erro de refração:** ocorre devido ao desvio do raio luminoso que percorre uma trajetória curva ao invés de uma reta. É dado por:

$$E_r = (0,079 * D^2) / R$$

Onde:

E_r = erro de refração (m)

- c) **Erro de nível aparente:** combinação dos erros de esfericidade e refração. É dado por:

$$E_{NA} = (0,421 * D^2) / R$$

Onde:

E_{NA} = erro de nível aparente (m)

No Quadro 01 obtém-se valores para o erro de nível aparente (E_{NA}) para valores em função da distância D e do raio da Terra de 6.367 km.

Quadro 01: Valores de distâncias X Erro de nível aparente

Distância (m)	Erro de Nível Aparente (m)
40	0,0001
80	0,0004
100	0,0007



120	0,0009
150	0,0015
200	0,0026
500	0,0165
1000	0,066

Nas aplicações práticas de nivelamento, considera-se sem efeito o erro de nível aparente inferior a 1 mm, ou seja, para distâncias entre visadas menores que 120 m.

No entanto, em visadas superiores (de acordo com a precisão do trabalho), deve-se determinar o erro de nível aparente, a fim de proceder a correção pela diferença de nível verdadeira. A diferença de nível verdadeira será obtida somando o erro de nível aparente à diferença de nível” (COMASTRI E TULER, 1987).

Essas correções geralmente são adotadas quando se executa o nivelamento pelo processo trigonométrico, com o intuito de obter boa precisão.

No nivelamento geométrico, as correções podem ser desprezadas porque as distâncias entre visadas são relativamente pequenas e, com a alternativa de posicionar o nível a distâncias iguais aos pontos a medir, minimizam-se os efeitos da esfericidade e refração” (TULER E SARAIVA, 2014)

2.3 Altitude, cota, diferença de nível e declividade

A definição de superfície de referência de nível designa-se por altitude. A **altitude** é definida como a altura de um ponto do terreno em relação à superfície de referência ideal ou verdadeira, ou seja, ao NMM. De acordo com a apresentação do item 2.1.

A **cota** é definida como a altura de um ponto em relação à superfície de referência aparente, ou seja, um plano arbitrário. Nos trabalhos topográficos é mais comum o emprego do termo “cota” para se designar as altitudes até mesmo para preenchimento das cadernetas de campo, croquis e planilhas.

O recurso de utilizar uma superfície de nível de comparação arbitrário é prático quando se trabalha em regiões em que não se tenha referência de altitudes. Mesmo nessas condições, é sempre recomendado trabalhar com altitudes aproximadas (obtidas com um altímetro, por meio de carta topográfica ou, ainda, com um GPS de navegação) para o ponto de partida do levantamento altimétrico. Nesses casos, deve-se informar a precisão dessa observação. Um inconveniente ao emprego de cotas nos levantamentos altimétricos é a impossibilidade de relacionar plantas



topográficas provenientes de levantamentos diferentes na mesma região (TULER E SARAIVA, 2014).

Entende-se como **diferença de nível (DN)** a diferença de altura entre dois pontos topográficos ou distância vertical entre eles. Tal diferença pode estar associadas as altitudes ou cotas dos pontos, podendo ocorrer em valores positivos ou negativos a depender da referência. Para cálculo da DN entre dois pontos A – B, simbolizado geralmente por DN_{A-B} ou ΔN_{A-B} , temos:

$$DN_{A-B} = Cota_B - Cota_A$$

$$DN_{A-B} = Altitude_B - Altitude_A$$

A **declividade** (inclinação ou rampa) do terreno é definida pela razão entre a DN e a distância horizontal entre dois pontos. Para ser expressa em porcentagem (%), o resultado deve ser multiplicado por 100. Caso não seja multiplicado por 100, será expresso na unidade “m/m”. O sinal da declividade está relacionado ao sinal da DN, ou seja, se positiva, teremos uma declividade positiva (ascendente); se negativa, declividade negativa (descendente).

$$I (\%) = (DN / DH) * 100$$

Onde:

DN = Diferença de Nível (m)

DH = Distância Horizontal (m)

O uso e o cálculo de declividades para a área de projetos é fundamental, pois uma obra de engenharia geralmente não se apoia diretamente no terreno; isto é, quase sempre será necessária uma **conformação** (terraplenagem) desse terreno ao projeto. Por exemplo, independentemente do projeto, as irregularidades do terreno deverão ser conformadas para declividades constantes, dando origem à denominação **greide** ou rampa de projeto. Um greide é uma linha que acompanha o perfil do terreno, dotada de determinada inclinação. Nesse caso, ela poderá indicar em quais locais o solo deverá ser cortado ou aterrado para se adequar ao projeto (TULER E SARAIVA, 2014).



2.4 Instrumentos para Nivelamento

Normalmente, os instrumentos empregados nos trabalhos de nivelamento são denominados **níveis**. Os níveis cujo princípio construtivo é baseado no fenômeno da gravidade, fornecem alinhamentos que pertencem a um plano horizontal durante as operações topográficas e podem ser classificados, de acordo com Tuler e Saraiva (2014,) em:

- Níveis cujo plano de visada é sempre horizontal
- Níveis cujo plano de visada tem movimento ascendente ou descendente

Categorias não enquadradas nesta definição são os barômetros e o nivelamentos que utilizam o GNSS ou GPS. Especificamente será tratado o nivelamento GNSS em capítulo específico.

2.4.1 Plano de visada horizontal

Os níveis, cujo princípio construtivo é baseado no fenômeno da gravidade, fornecem alinhamentos que pertencem a um plano horizontal durante as operações topográficas. Os níveis com visada horizontal quando girados em torno de seu eixo vertical, devidamente ajustado, descrevem sempre um plano horizontal. A horizontalidade do plano de visada do equipamento está apoiada na física, pelo princípio de gravidade, podendo ser obtida através do emprego de níveis de bolha, do equilíbrio dos líquidos nos vasos comunicantes ou através do princípio dos corpos suspensos. Ver Quadro 02.

Quadro 02: Instrumentos altimétricos que utilizam o princípio da gravidade

Princípios construtivos	Instrumentos	Confiabilidade
Níveis de bolha	Níveis de luneta	De ótima a boa
Equilíbrio dos líquidos nos vasos comunicantes	Níveis de água	De boa a média
Corpos suspensos	Perpendículo (fio de prumo)	De média a baixa

Fonte: Adaptado de Tuler e Saraiva (2014).

Os **níveis de bolha** têm por finalidade materializar a vertical que passa por um ponto, sendo que a normal a essa vertical fornece o plano horizontal. O nível de bolha consiste em um recipiente, no qual é introduzido um líquido, o mais volátil,



que deixa um vazio formando uma bolha. O recipiente, segundo sua forma, distingue-se em dois tipos de acordo com Tuler e Saraiva (2014):

- **Níveis esféricos:** construídos de uma calota esférica de cristal acondicionada em caixa metálica.
- **Níveis cilíndricos:** são constituídos de um tubo cilíndrico de cristal. A superfície da parte interna é polida de maneira a formar um ligeiro arco. Nas estações totais, por exemplo, os níveis cilíndricos estão associados a um sistema eletrônico, em que são ajustados (calados) com auxílio dos parafusos calantes e visão através do display do equipamento.

Quando se associa uma luneta aos níveis de bolha (esférico e/ou cilíndrico), tem-se os **níveis de luneta**. A precisão desse nível está associada, em princípio, à sensibilidade dos níveis de bolha e a capacidade de aumento (zoom) da luneta. Ver Figura 07.



Figura 07: Nível de Luneta (topográfico)
Fonte: Universidade Estadual de Campinas (2020).

Outro nível de bolha muito utilizado na construção civil é o **nível de pedreiro**, podendo ser mecânico ou digital. Fornecem entre baixa e média precisão e atendem aos serviços expeditos.

Existem diversos tipos de níveis, eletrônicos ou digitais, que fazem leituras em miras com código de barras, nível laser, que gira perpendicularmente em relação ao plano vertical, horizontal ou inclinado. Ainda tem o equipamento de alinhamento laser com nivelamento automático que fornece feixes de laser em duas ou três direções.

Já o **equilíbrio dos líquidos nos vasos comunicantes** tem como base o princípio físico da força da gravidade sobre os vasos comunicantes. O instrumento mais utilizado é o **nível de borracha** ou **de mangueira**. Além de fácil manejo e baixo custo, esta técnica permite marcações confiáveis nos nivelamentos, como transferências de nível entre pontos, principalmente em práticas da construção civil. Para melhor uso do nível de mangueira, podem-se utilizar dois suportes de madeira ou metal, aos quais estão presas as extremidades da mangueira transparente. Ver exemplo do nivelamento de mangueira na Figura 08.

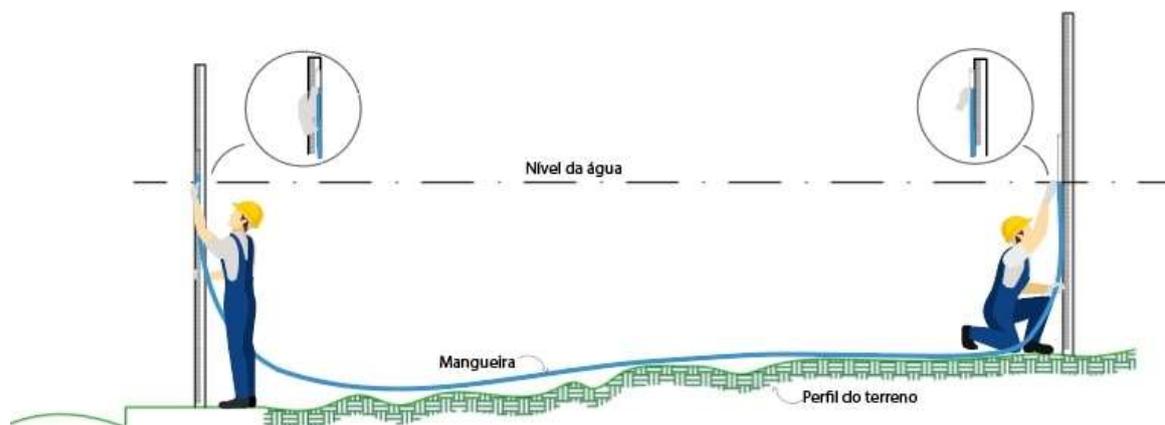


Figura 08: Nivelamento de Mangueira

2.4.2 Plano de visada com inclinação

Os instrumentos com plano de visada com inclinação permitem o afastamento do plano de visada em relação a horizontal, possibilitando a esta categoria medir ângulos verticais. Inicialmente materializa-se um plano horizontal por meio de níveis de bolha. São utilizados os seguintes equipamentos:

- **Clinômetros:** equipamento medidor de ângulo vertical de baixa precisão utilizado para levantamentos expeditos. Apesar de sua simplicidade já existe



uma versão digital. Além disso, cita-se como aplicação na área geológica e geotécnica sua utilização para medir a inclinação de estratos e taludes, que corresponde ao ângulo formado pelo pendente (linha de maior declive) com o plano horizontal.

- **Teodolitos e estações totais:** equipamentos utilizados através de técnicas de nivelamento trigonométrico ou taqueométrico.

2.4.3 Acessórios

São considerados **acessórios** todos os instrumentos de apoio a realização de nivelamentos. A **mira vertical** constitui o principal acessório no caso específico dos nivelamentos geométrico e taqueométrico. As miras são réguas graduadas que são colocadas verticalmente nos pontos a nivelar e nas quais se mede a intersecção do plano horizontal traçado pelo nível. Sua menor célula gráfica é o centímetro, é numerada de decímetro em decímetro, sendo que os metros são indicados por pontos ou números romanos. Um nível de cantoneira ou um nível de bolha junto à mira facilita sua verticalidade. As miras podem ser extensíveis ou dobráveis e podem ser produzidas de madeira ou metalon, reforçadas nas extremidades por guarnições metálicas. Podem ser graduadas direta ou inversamente (para medir alturas de tetos e galerias). No caso do nivelamento trigonométrico o acessório utilizado é o conjunto bastão-prisma.

Durante a leitura em uma mira convencional devem ser lidos quatro algarismos, que corresponderão aos valores do metro, decímetro, centímetro e milímetro, sendo que este último é obtido por uma estimativa e os demais por leitura direta dos valores indicados na mira. A leitura do valor do metro é obtida através dos algarismos romanos (I, II, III) e/ou da observação do símbolo (normalmente um ponto) acima dos números que indicam o decímetro. A leitura do decímetro é realizada através dos algarismos arábicos (1,2,3, etc). A leitura do centímetro é obtida através da graduação existente na mira, onde traços escuros correspondem a centímetros ímpares e traços claros correspondem a valores pares. Os centímetros de leitura 0 e 5 possuem traços de largura maior para

melhor visualização. Finalmente a leitura do milímetro é estimada visualmente. Ver exemplo de leitura de mira na Figura 09.

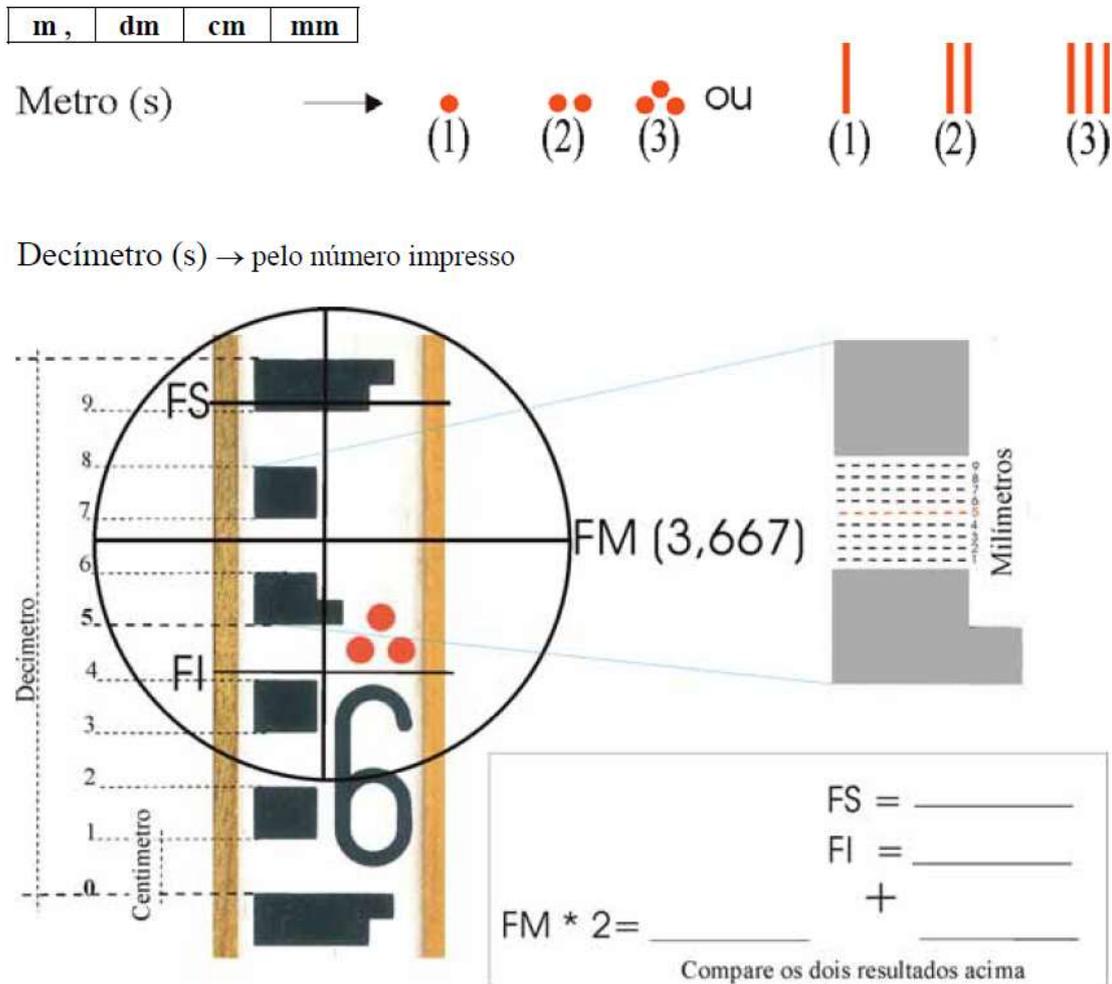


Figura 09: Exemplos de leituras realizadas na mira
Fonte: Silva, 2003.

2.4.4 Barômetros e Altimetros

Os barômetros e os altímetros são instrumentos que medem a variação da pressão atmosférica e relacionam essas medidas a variações de altitude.

Os instrumentos mais utilizados nos nivelamentos barométricos são os aneroides e altímetros por serem mais resistentes e adaptáveis as condições de campo. Não são recomendáveis para uso em engenharia devido sua precisão, que vão de baixa a média nas determinações, podendo ocorrer diferenças de nível



de até 1 m (dependendo do modelo do equipamento), de acordo com Tuler e Saraiva (2014). Também já existe a versão digital do altímetro.



3. NIVELAMENTO

Chama-se genericamente de **Nivelamento** as operações que se executam em uma determinada região, nas quais colhem-se dados com o objetivo de se determinar a DN de pontos da superfície em relação a outros. O nivelamento é um processo que consiste na obtenção de cotas ou altitudes de pontos no terreno, ou seja, os desníveis entre ponto e terreno. Com a junção das informações planimétricas obtidas pelos procedimentos de planimetria (coordenadas planimétricas: UTM, polares...) e as informações altimétricas dos pontos, pode-se representar a superfície topográfica em duas ou três dimensões. De acordo com a NBR13133, levantamento topográfico altimétrico ou nivelamento é:

Levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas à uma superfície de referência dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhe, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando a representação altimétrica da superfície levantada". (ABNT, 1994)

O nivelamento, de acordo com Tuler e Saraiva (2014) é a operação de determinar a DN entre dois ou mais pontos no terreno. Essa operação é realizada empregando-se métodos e instrumentos adequados, sendo que as DN podem ser determinadas de duas formas:

- **Diretamente:** através do emprego de níveis;
- **Indiretamente:** por meio de visadas inclinadas e com base em resoluções trigonométricas, pelo princípio barométrico ou através de nivelamento GNSS.

No geral, em decorrência da natureza, precisão e do processo de medida usado na determinação das cotas e das altitudes os nivelamentos podem ser classificados em:

- **Geométrico:** método altimétrico de leitura direta realizado por visadas horizontais através de níveis topográficos em miras verticais graduadas. Apesar de utilizar como referência o nível aparente, é considerado o método de nivelamento mais preciso que existe porque existe limitação de distâncias para realizar as leituras na mira (até 120 m);



- **Trigonométrico:** método planialtimétrico realizado através de Teodolitos e Estações totais com visadas com qualquer inclinação e cálculos trigonométricos. Também utiliza como referência o nível aparente e por abranger distâncias mais longas (até 5 km) devem ser realizadas as correções de erro de nível aparente (item 2.1.1). Mais rápido que o Geométrico, porém menos preciso. Não indicado para a engenharia, onde os trabalhos ou implantação de projetos exigem precisão;
- **Taqueométrico:** variação de nivelamento trigonométrico em que as distâncias são obtidas taqueometricamente através das leituras em miras graduadas. Por ser um método bastante impreciso só pode ser utilizado em levantamentos expedidos. Também não é recomendado para uso em engenharia;
- **Barométrico:** método baseado na referência de nível verdadeira, onde a DN é obtida de forma indireta, através da determinação de um plano horizontal e a relação existente entre a pressão atmosférica e a altitude. Tem pouca precisão, existe a necessidade de efetuar correções devido à maré barométrica, entretanto, dispensa a visibilidade entre os pontos a serem nivelados;
- **GNSS:** método planialtimétrico relativo indireto de obtenção da altitude ortométrica, que utiliza a ondulação geoidal e a altitude geométrica fornecida pelo satélite.

É importante ao se executar um nivelamento geométrico em uma área destinada à execução de projetos, cuja implantação exigirá a modificação do relevo (por exemplo, a construção de uma estrada ou obras em via urbana), implantar pontos de **Referência de Nível (RN)**. Este assunto será abordado no capítulo 6.

3.1 Nivelamento Geométrico

O nivelamento geométrico é o método mais preciso dentre todos os métodos de nivelamento existentes. No nivelamento geométrico, ou direto, as DN são determinadas com instrumentos que fornecem visadas no plano horizontal. A geração do plano horizontal, com a intersecção da mira colocada sucessivamente

nos pontos topográficos, permite determinar as alturas de leituras nesses pontos (TULER E SARAIVA, 2014).

O método é realizado através de visadas horizontais com um instrumento denominado **Nível** e os dados são obtidos através de visadas horizontais. Consiste, portanto, em criar um plano horizontal e determinar as interseções deste plano com uma série de leituras verticais realizadas nos pontos a nivelar e, em seguida, obter a distância vertical ou diferença de nível (DN) destes pontos ao plano de referência. Ver Figura 10. O objetivo do método é medir o desnível entre dois pontos em levantamentos geodésicos ou topográficos. O nivelamento geométrico de acordo com a NBR13133 é:

“É o nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos” (ABNT, 1994).

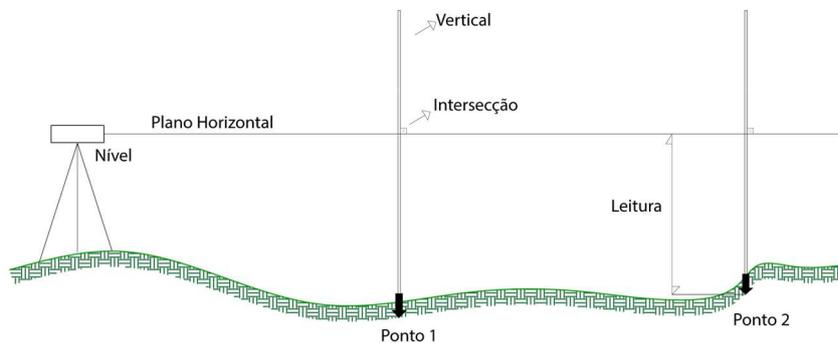


Figura 10: Nivelamento Geométrico

Geralmente o método se aplica em levantamentos de estradas ao longo do eixo longitudinal, em terraplanagem, em lavouras de arroz e terraceamento e também na demarcação de cotas de inundação em barragens, entre outras aplicações.

São utilizados os seguintes conceitos na sua realização:

- **Visada:** leitura efetuada sobre a mira;
- **Lance:** é a medida direta (distância) entre duas miras verticais ou dois pontos nivelados;



- **Seção:** é a medida (distância) entre duas referências de nível (RRNN) ou entre um RN e o último ponto a ser nivelado. É a soma dos lances;
- **Trecho:** é a soma de todas as seções. Normalmente forma uma poligonal aberta;
- **Linha de nivelamento:** é o conjunto das seções compreendidas entre duas RRNN chamadas principais;
- **Circuito de nivelamento:** é a poligonal fechada constituída de várias linhas justapostas;
- **Pontos nodais:** são as RRNN principais, às quais concorrem duas ou mais linhas de nivelamento;
- **Rede de nivelamento:** é a malha formada por vários circuitos justapostos.

De acordo com Tuler e Saraiva (2014) e Espartel (1965), por ser o método mais preciso que existe para realizar os levantamentos altimétricos, há algumas condições para sua execução, visando dar maior qualidade ao nivelamento. Para evitar erros de diversas naturezas, deve-se observar o seguinte:

- a) Instalar o nível sempre que possível entre os pontos a serem nivelados;
- b) Ler e anotar corretamente as leituras da mira mantendo-a na vertical e imóvel, principalmente nas visadas que ocasionam as mudanças de instrumento (mudanças de Planos de Referência (PR));
- c) Certificar-se sempre de que o nível está em boas condições técnicas (calantes, bolhas);
- d) Instalar o instrumento em lugar firme e seguro;
- e) Evitar leitura de mira a grandes distancias, limitando-se a aproximadamente 100 m, mesmo porque em distâncias grandes é impossível realizar as leituras;
- f) Evitar leituras inferiores a aproximadamente meio metro do chão, e até mesmo a um metro em dias de sol e hora de forte irradiação e de movimento do ar, em que os raios luminosos próximos ao solo sofrem tal movimento e oscilam de tal modo que as leituras se tornam imprecisas.

Existem duas formas de realizar o nivelamento geométrico: o simples e o composto.



3.1.1 Nivelamento Geométrico Simples

Denomina-se nivelamento geométrico simples quando é possível visar, de uma única estação do nível, a mira colocada sucessivamente em todos os pontos do terreno a nivelar.

Geralmente o nível é instalado em uma posição de modo a visar a mira colocada verticalmente em todos os pontos a levantar de forma equidistante. A primeira visada na mira é realizada em um ponto com cota/altitude conhecida – visada de **Ré**. Nos demais pontos são realizadas visadas de **Vante**.

Na Figura 11 pode ser percebido que o nível foi instalado entre os pontos Ré e Vante de forma equidistante. Neste exemplo só existe um ponto Ré e um ponto Vante. Através do conhecimento da cota/altitude do ponto de Ré, a Altura do instrumento (**Ai**) (ou plano de referência) pode ser definida através da sua soma à leitura na mira realizada no ponto Ré, ou seja:

$$\mathbf{Ai = Cota + Ré}$$

A cota do ponto Vante será dada pela diferença entre **Ai** e a visada de Vante, ou seja:

$$\mathbf{Cota = Ai - Vante}$$

Através desse processo simples, determina-se a DN entre os pontos pela diferença entre a visada de Ré e a visada de Vante, ou seja:

$$\mathbf{DN_{Ré-Vante} = Cota_{Vante} - Cota_{Ré}}$$

$$\mathbf{DN_{Ré-Vante} = Vante - Ré}$$

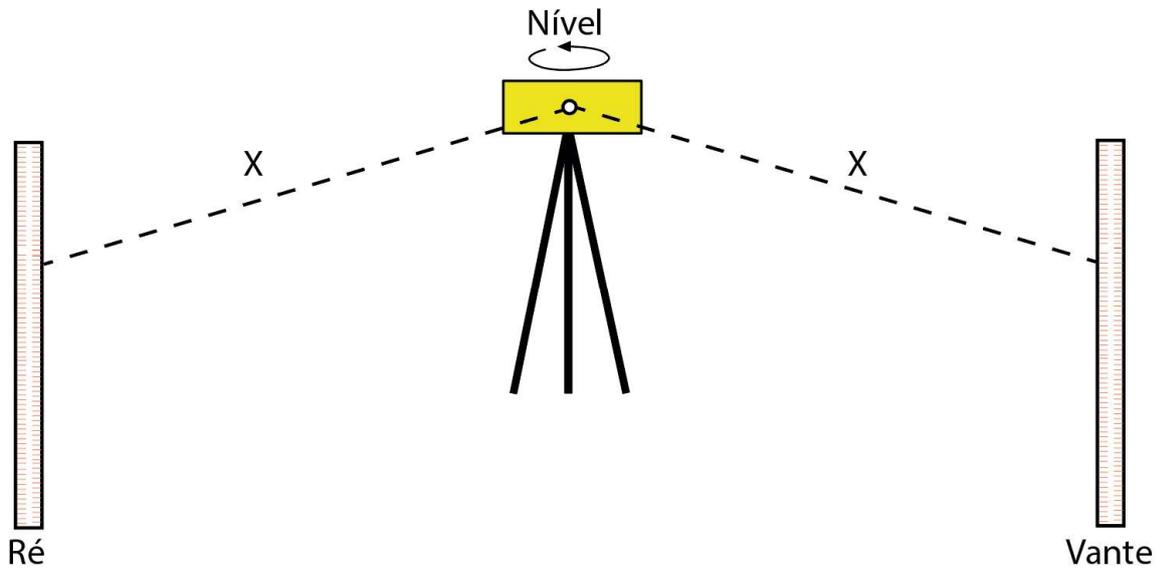


Figura 11: Nivelamento Geométrico Simples com somente dois pontos (R  e Vante)

Na Figura 12 pode ser visualizado um exemplo de nivelamento geométrico simples com quatro pontos diferentes, sendo que três deles tem cota/altitude desconhecida. Os dados do nivelamento devem ser anotados em cadernetas próprias, conforme o exemplo apresentado no Quadro 03, onde os valores destacados em negrito são os dados coletados em campo e os demais são os valores calculados.

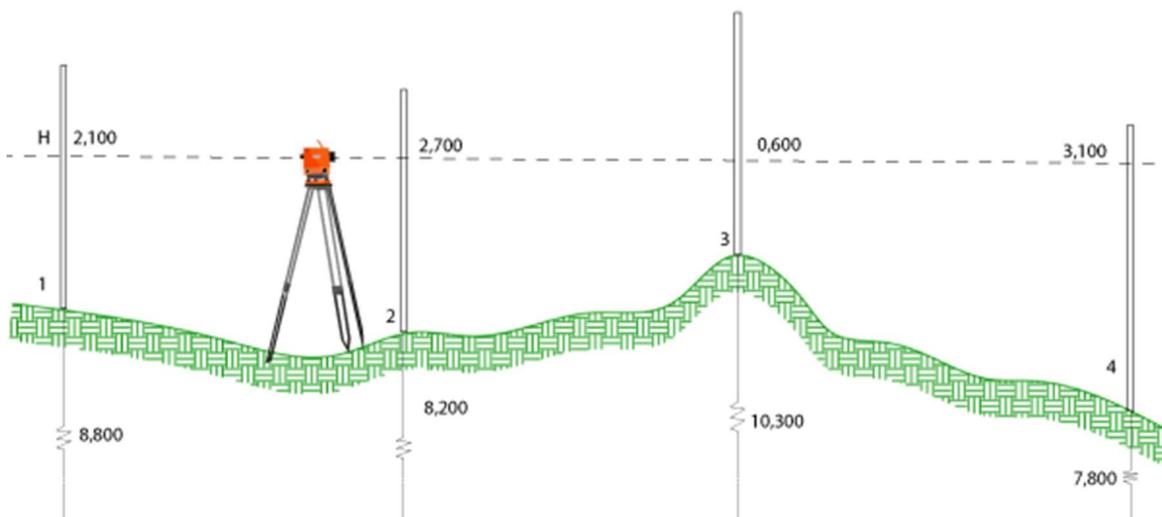


Figura 12: Nivelamento Geométrico Simples com um Ponto de R  (1) e três pontos de Vante (2, 3 e 4)



Quadro 03: Caderneta de Nivelamento Geométrico Simples

Ponto Visado	Altura do instrumento (Ai)	Leituras na mira (m)		Cotas – Altitudes (m)	Observações
		Ré	Vante		
1	10,900	2,100		8,800	RN em frente ao EQA
2			2,700	8,200	
3			0,600	10,300	
4			3,100	7,800	

Na Figura 12 e na caderneta de campo do Quadro 03, primeiramente é calculada a altura do instrumento (Ai) que é igual a cota/altitude do Ponto 1 mais a visada de Ré no Ponto 1, ou seja:

$$A_{i1} = Cota_1 + Ré_1$$

$$A_{i1} = 8,800 + 2,100 = 10,900 \text{ m}$$

As próximas cotas/altitudes (Cota₂, Cota₃ e Cota₄) serão dadas pela diferença entre Ai₁ e as visadas de Vante nos Pontos 1, 2 e 3, ou seja:

$$Cota_2 = A_{i1} - Vante_2 = 10,900 - 2,700 = 8,200 \text{ m}$$

$$Cota_3 = A_{i1} - Vante_3 = 10,900 - 0,600 = 10,300 \text{ m}$$

$$Cota_4 = A_{i1} - Vante_4 = 10,900 - 3,100 = 7,800 \text{ m}$$

As DN entre os pontos serão dadas por:

$$DN_{1-2} = Cota_2 - Cota_1 = 8,200 - 8,800 = -0,600 \text{ m}$$

$$DN_{1-3} = Cota_3 - Cota_1 = 10,300 - 8,800 = 1,500 \text{ m}$$

$$DN_{1-4} = Cota_4 - Cota_1 = 7,800 - 8,800 = -1,000 \text{ m}$$

O método de nivelamento simples é bastante aplicado na área da construção civil e seu maior benefício é o rendimento apresentado, pois o nível é instalado em uma só posição e, a partir dela, é realizada a leitura nos pontos de forma contínua em 360°. O instrumento deve ficar equidistante dos extremos (onde as miras são colocadas) para evitar os erros de curvatura terrestre e refração



atmosférica. A distância horizontal ideal para realização da prática é de, no máximo, 50 m (TULER E SARAIVA, 2014).

3.1.2 Nivelamento Geométrico Composto

Na existência de desníveis acentuados, quando os desníveis a nivelar superam o comprimento da régua, geralmente, 4 m ou, quando a distância horizontal de pontos a nivelar é muito extensa (maior que 100 m), se torna necessário estacionar o instrumento em mais de uma posição, para se nivelar o local em estudo. Então decompõe-se o trecho a nivelar em trechos menores e realiza-se uma sucessão de nivelamentos geométricos simples.

De acordo com Tuler e Saraiva (2014), ao executar a mudança do instrumento de lugar é realizado o nivelamento geométrico composto, que é o método de nivelamento geométrico mais preciso e mais aplicado em engenharia. Assim o aparelho é novamente instalado e começa um novo levantamento com a mira posicionada sobre o último ponto de cota/altitude conhecida do nivelamento anterior. O cálculo é idêntico ao do nivelamento simples, com exceção da alteração do valor da Altura do instrumento (plano de referência), que deverá ser novamente calculado em virtude da mudança da posição do nível.

Neste procedimento o desnível independe da altura do nível. Nota-se que, ao alterar o plano de referência (altura do instrumento), as leituras também se modificam, contudo, o desnível calculado permanece o mesmo. A principal vantagem deste método é o fato de minimizar erros causados pela curvatura terrestre, refração atmosférica e colimação de nível (os dois primeiros são significativos no nivelamento geométrico aplicado em Geodésia). Deve-se notar que a leitura de Ré é aplicada quando ocorre mudança na posição do nível.

Mesmo que o nível esteja a igual distância entre as miras, não, necessariamente, precisa estar alinhado entre elas. Ver exemplo na Figura 13 e na caderneta de campo do Quadro 04, onde os valores destacados em negrito são os dados coletados em campo e os demais são os valores calculados. Genericamente as fórmulas são:



$$A_i = \text{Cota} + \text{Ré}$$

$$\text{Cota} = A_i - \text{Vante}$$

Onde:

A_i: altura do instrumento ou plano de referência

Cota: altitude do ponto visado

Ré: leitura de ré na mira (ponto com cota conhecida ou RN)

Vante: leitura de vante mira (ponto que se deseja conhecer a cota)

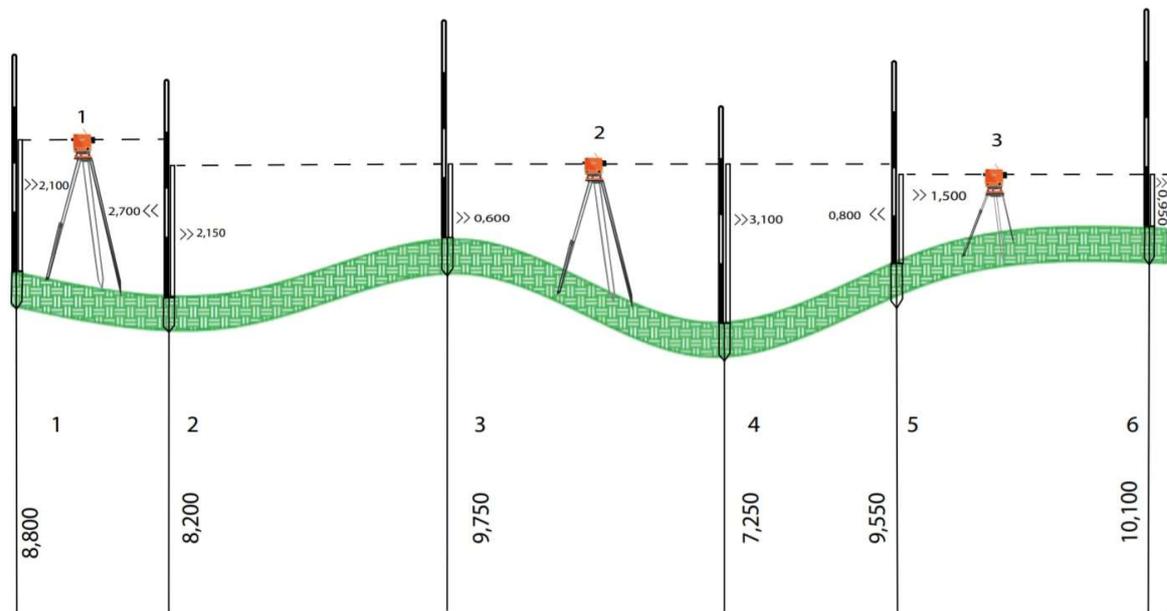


Figura 13: Nivelamento Geométrico Composto

Quadro 04: Caderneta de Nivelamento Geométrico Composto

Ponto Visado	Altura do instrumento (A _i)	Leituras na mira (m)		Cotas – Altitudes (m)	Observações
		Ré	Vante		
1	10,900	2,100	2,700	8,800	RN em frente ao EQA
2			2,700	8,200	
2	10,350	2,150		8,200	
3			0,600	9,750	
4			3,100	7,250	
5			0,800	9,550	
5	11,050	1,500		9,550	
6			0,950	10,100	



Na Figura 13 e na caderneta de campo do Quadro 04, primeiramente, é calculada a altura do instrumento (A_i), ou seja:

$$A_{i1} = Cota_1 + Ré_1$$

$$A_{i1} = 8,800 + 2,100 = 10,900 \text{ m}$$

A próxima cota/altitude ($Cota_2$) será dada pela diferença entre A_{i1} e a visada de Vante no Ponto 2, ou seja:

$$Cota_2 = A_{i1} - Vante_2 = 10,900 - 2,700 = 8,200 \text{ m}$$

Neste momento deve ser observado que ocorreu a mudança do instrumento da posição 1 para a posição 2 (Figura 13), então o valor de A_i deve ser recalculado para o novo plano de referência agora denominado A_{i2} , ou seja:

$$A_{i2} = Cota_2 + Ré_2$$

$$A_{i2} = 8,200 + 2,150 = 10,350 \text{ m}$$

Para o cálculo das cotas dos pontos 3, 4 e 5, deve-se utilizar este novo plano de referência da visada no Ponto 2 (A_{i2}) e as leituras de vante nos pontos 3, 4 e 5:

$$Cota_3 = A_{i2} - Vante_3 = 10,350 - 0,600 = 9,750 \text{ m}$$

$$Cota_4 = A_{i2} - Vante_4 = 10,350 - 3,100 = 7,250 \text{ m}$$

$$Cota_5 = A_{i2} - Vante_5 = 10,350 - 0,800 = 9,550 \text{ m}$$

Novamente houve mudança do equipamento da posição 2 para a posição 5 (Figura 13), então o valor de A_i deve ser recalculado para o novo plano de referência agora denominado A_{i5} , ou seja:

$$A_{i5} = Cota_5 + Ré_5$$

$$A_{i5} = 9,550 + 1,500 = 11,050 \text{ m}$$



Finalmente a última cota/altitude ($Cota_6$) será dada pela diferença entre Ai_5 e a visada de Vante no Ponto 6, ou seja:

$$Cota_6 = Ai_5 - Vante_6 = 11,050 - 0,950 = 10,100 \text{ m}$$

Para o cálculo das DN entre os pontos, basta calcular a diferença entre as cotas dos pontos em questão, como nos exemplos abaixo:

$$DN_{1-2} = Cota_2 - Cota_1 = 8,200 - 8,800 = -0,600 \text{ m}$$

$$DN_{1-3} = Cota_3 - Cota_1 = 9,750 - 8,800 = 0,950 \text{ m}$$

$$DN_{1-4} = Cota_4 - Cota_1 = 7,250 - 8,800 = -1,550 \text{ m}$$

Para verificação dos cálculos das cadernetas (exemplos apresentados nos Quadros 04 e 05), deve ser realizado cálculo que envolve o somatório das visadas de ré, menos o somatório das visadas de vante (mudança), que deve ser igual à diferença das cotas entre o ponto final (chegada) e o ponto inicial (partida):

$$\sum Ré - \sum Vante = Cota_{chegada} - Cota_{partida}$$

Para o somatório das visadas de vante, deve-se considerar aquelas medidas nas quais houve mudança da posição do nível, mais a última visada de vante.

O nivelamento geométrico composto pode ser realizado ao longo de uma poligonal fechada ou ao longo de uma poligonal aberta como, por exemplo, na sequência do eixo de uma estrada. Geralmente nivela-se pontos a cada 20 m para o transporte e também pontos situados entre esses 20 m, desde que tenham importância na configuração do terreno (pontos de detalhe).

Nas poligonais fechadas o nivelamento inicia pelo ponto inicial e termina pelo mesmo ponto inicial de forma a realizar um percurso. Em poligonais abertas o nivelamento também pode iniciar pelo ponto inicial, deve passar pelo ponto final e ser concluído novamente no ponto inicial, seja nivelando todos os pontos através



de renivelamento, seja nivelando apenas alguns pontos principais através de contranivelamento.

3.1.3 Erro no Nivelamento Geométrico

O erro cometido em campo durante o nivelamento geométrico independe da verificação dos cálculos da caderneta apresentados nos Quadros 04 e 05. De acordo com Tuler e Saraiva (2014), o erro cometido pode ser em função do desvio da horizontalidade do eixo de colimação da luneta do nível, da imperfeição da verticalidade da mira, da imprecisão na leitura da mira ou da mudança da posição da mira ao executar uma mudança de nível.

Para obter esse erro de operação do levantamento de campo, deve-se primeiramente classificar o nivelamento em duas categorias:

- **Nivelamento de uma poligonal fechada:** poligonal onde o levantamento se inicia em um determinado ponto de partida com cota/altitude conhecida (em geral uma RN), percorre-se toda a poligonal ocupando todos os pontos e visa-se ao final, o mesmo ponto de partida inicial;
- **Nivelamento de uma poligonal aberta:** poligonal onde o levantamento se inicia em um determinado ponto de partida e se chega a outro ponto.

Em uma **poligonal fechada**, a soma algébrica das DN ou cotas/altitudes parciais deve ser nula, ou:

$$\sum R_e - \sum V_a = C_{\text{Final}} (C_F) - C_{\text{Inicial}} (C_I) = 0$$

Desta forma o Erro de nivelamento (E_n) é dado por:

$$E_n = C_F - C_I$$

Quando $C_F > C_I$ teremos um **erro por excesso** e quando $C_F < C_I$ teremos um **erro por falta**.



Em uma **poligonal aberta**, a única maneira de se verificar a exatidão do nivelamento e controlar o erro cometido consiste em repetir o nivelamento de trás para frente, o que se denomina **contranivelamento**. No contranivelamento não é necessário nivelar todas as estacas do nivelamento, bastando nivelar os pontos auxiliares para que, partindo do último, retorne-se ao ponto de partida. A diferença entre a cota/altitude do ponto de partida (C_i) e a cota que for calculada para o ponto de partida ao final da operação do contranivelamento (C_{FC}) é o erro cometido no nivelamento:

$$E_n = C_{FC} - C_i$$

Quando $C_{FC} > C_i$ teremos um **erro por excesso** e quando $C_F < C_i$ teremos um **erro por falta**.

É recomendável estabelecer um RN de km em km, e contranivelar, pois a verificação do nivelamento é feita de RN a RN e os erros, quando toleráveis, podem ser parcialmente distribuídos. No caso da existência da cota da RN do ponto de partida e RN do ponto de chegada (C_{RNF}), o erro será dado por:

$$E_n = C_F - C_{RNF}$$

A definição da tolerância nos nivelamentos varia de acordo com as irregularidades do relevo do terreno e com o número de estações niveladas (distância nivelada). O fator a ser considerado na tolerância depende da precisão desejada e também do tipo de equipamento utilizado (ABNT, 1994), sendo “k” a distância horizontal do trecho nivelado, expressa em quilômetros.

$$T = \text{fator } \sqrt{k}$$

Quando o erro cometido está dentro da tolerância estabelecida para os trabalhos, ele é denominado **erro admissível**. No nivelamento geométrico, a correção deverá ser introduzida em cada mudança da posição do nível, ou, mais precisamente, nas visadas de ré, sendo igual à divisão do erro admissível pelo número de instalações do nível:



Correção = - (erro admissível) / (número de instalações do nível)

A correção será feita com sinal contrário ao do erro do nivelamento:

Se **por excesso (+)**, a **correção é negativa (-)**, se **por falta (-)**, a **correção é positiva (+)**.

Também deve ser observado que a correção ocorre de forma acumulativa, de modo a compensar as correções anteriores. Deve-se observar ainda que:

- Para realizar a correção deve-se evitar valores menores que um milímetro, em virtude da precisão das visadas nos nivelamentos topográficos; logo, em caso de valores sem divisão exata, deve-se arredondar e adotar valores inteiros até o milímetro;
- Com a alteração da leitura de visada de ré, com respectiva alteração da Altura do instrumento (A_i), todas as cotas deverão ser recalculadas.

As cotas compensadas são obtidas em coluna própria, pela soma ou diferença das correções calculadas, conforme apresentação da caderneta de campo do Quadro 05. A seguir será apresentado um exemplo de procedimento para realizar o nivelamento geométrico, retirado de Tuler e Saraiva (2014).

Exemplo 1: com base na planilha (caderneta de campo) do Quadro 05:

- a) Calcule as cotas dos pontos
- b) Verifique o cálculo da planilha
- c) Determine o erro do nivelamento
- d) Defina a tolerância
- e) Distribua o erro admissível

Dados:

- Nivelamento geométrico composto em poligonal fechada.
- Nivelamento de precisão IN (NBR 13133, 1994).
- Comprimento nivelado $K = 1385,00$ m.



Quadro 05: Caderneta de nivelamento geométrico composto

Ponto Visado	Altura do Instrumento	Leituras na Mira		Cotas - Altitudes	Correção Acumulada	Cotas Corrigidas	Observações
		Ré	Vante				
RN	50,438	0,438		50,000			RN em um marco de concreto em frente ao EQA
1			1,795	48,643	-0,002	48,641	
2			3,542	46,896	-0,002	46,894	
2*	47,405	0,509					
3			2,064	45,341	-0,003	45,338	
4			3,285	44,120	-0,003	45,338	
4*	47,931	3,811					
5			2,053	45,878	-0,004	45,874	
6			0,276	47,655	-0,004	47,651	
6*	51,449	3,794					
7			2,082	49,367	-0,005	49,362	
RN			1,444	50,005	-0,005	50,000	

Obs.: em negrito estão descritas as informações levantadas em campo e o restante são os dados calculados
* Significa que o ponto foi medido duas vezes, sendo uma visada de vante e outra de ré

Fonte: Adaptado de Tuler e Saraiva (2014)

Solução do exemplo 1:

a) Primeiro calcular as cotas dos pontos através das fórmulas:

$$A_i = \text{Cota} + \text{Ré}$$

$$\text{Cota} = A_i - \text{Vante}$$

$$A_{iRN} = \text{Cota}_{RN} + \text{Ré}_{RN} = 50,000 + 0,438 = 50,438 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_1 = A_{iRN} - \text{Vante}_1 = 50,438 - 1,795 = 48,643 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_2 = A_{iRN} - \text{Vante}_2 = 50,438 - 3,542 = 46,896 \text{ m}$$

$$A_{i2} = \text{Cota}_2 + \text{Ré}_2 = 46,896 + 0,509 = 47,405 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_3 = A_{i2} - \text{Vante}_3 = 47,405 - 2,064 = 45,339 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_4 = A_{i2} - \text{Vante}_4 = 47,405 - 3,285 = 44,120 \text{ m}$$

$$A_{i4} = \text{Cota}_4 + \text{Ré}_4 = 44,120 + 3,811 = 47,931 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_5 = A_{i4} - \text{Vante}_5 = 47,931 - 2,053 = 45,878 \text{ m}$$

$$\text{Cota}_6 = A_{i4} - \text{Vante}_6 = 47,931 - 0,276 = 47,655 \text{ m}$$



$$\mathbf{Ai6 = Cota6 + Ré6 = 47,655 + 3,794 = 51,449 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Cota7 = Ai6 - Vante7 = 51,449 - 2,082 = 49,367 \text{ m}}$$

$$\mathbf{CotaRN = Ai6 - VanteRN = 51,449 - 1,444 = 50,005 \text{ m}}$$

b) Verificar o cálculo da planilha (caderneta) através das fórmulas:

$$\mathbf{\sum Ré - \sum Vante = C_F - C_I}$$

$$\mathbf{\sum Ré = 0,438 + 0,509 + 3,811 + 3,794 = 8,552 \text{ m}}$$

$$\mathbf{\sum Vante = 3,542 + 3,285 + 0,276 + 1,444 = 8,547 \text{ m}}$$

$$\mathbf{C_F = 50,005 \text{ m}}$$

$$\mathbf{C_I = 50,000 \text{ m}}$$

$$\mathbf{(8,552 - 8,547 = 50,005 - 50,000)}$$

$$\mathbf{(0,005 \text{ m} = 0,005 \text{ m})}$$

c) Determinar o erro do nivelamento para poligonal fechada através da fórmula:

$$\mathbf{E_n = C_F - C_I}$$

$$\mathbf{C_I = 50,000 \text{ m}}$$

$$\mathbf{C_F = 50,005 \text{ m}}$$

$$\mathbf{E_m = 50,005 - 50,000 = + 0,005 \text{ (+ 5 mm, erro por excesso)}}$$

d) Definir a tolerância através da fórmula:

$$\mathbf{T = \text{fator } \sqrt{k}}$$

Considerando que para um nivelamento de precisão de 2º ordem o fator é de 12 mm, para uma distância nivelada de 1.385,00 km, teremos:



$$T = 12 \text{ mm } \sqrt{1,385} = +/- 14,1 \text{ mm } \sim 14 \text{ mm}$$

Logo, o erro cometido está dentro do tolerável, ou seja, $+ 5 \text{ mm} < + 14 \text{ mm}$.

e) Distribuir o erro através da fórmula:

$$\text{Correção} = - (\text{erro admissível} / \text{número de instalações do nível})$$

$$\text{Correção} = - (5 \text{ mm} / 4) = - 1,25 \text{ mm}$$

Observação: como o erro encontrado foi por excesso (positivo) a correção deverá ser negativa. Como a divisão não está exata por milímetros, deverá ser realizado o procedimento de acordo com o Quadro 06.

Quadro 06: Distribuição do erro do nivelamento geométrico

Pontos a sofrer correção	Correção	Correção Acumulada
A_{iRN}	- 2 mm	- 2 mm
A_{i2}	- 1 mm	- 3 mm
A_{i4}	- 1 mm	- 4 mm
A_{i6}	- 1 mm	- 5 mm
Soma	- 5 mm	



4. REPRESENTAÇÃO ALTIMÉTRICA

Nas operações topográficas, denominamos relevo as elevações e depressões do terreno. No âmbito da topografia a topologia tem por objetivo estudar as formas do relevo, estabelecendo modelos que o representem. Este conceito está relacionado ao desenho topográfico, realizado a partir dos trabalhos topométricos. A topologia tem por objetivo o estudo das formas da superfície terrestre e das leis que regem o seu modelado (ESPARTEL, 1965).

Para representar o relevo matematicamente, o primeiro passo é levantar os dados em campo, e em seguida, trabalhá-los para representar esta superfície em projetos e plantas com todos os detalhes naturais (hidrografia, elevações, depressões, vegetação, entre outros) e artificiais (edificações, vias, pontes, divisas, etc.) do terreno. Para facilitar o desenho de uma planta topográfica convém traçar um reticulado de coordenadas planas (geralmente em UTM, já estudado em Topografia I), com malhas amplas com aproximadamente quatro ou cinco centímetros. Traçadas e verificadas todas as poligonais de apoio do levantamento (já realizadas em Topografia I), inicia-se a marcação de todo detalhe planimétrico, para após realizar a marcação altimétrica.

O relevo pode ser representado por pontos cotados, por um perfil ou por uma planta com curvas de nível, seja em meio analógico ou digital, ou, atualmente por modelos digitais de elevação ou grades triangulares ou retangulares.

Em escalas grandes os detalhes podem ser representados em verdadeira grandeza e, em escalas médias e pequenas, usando convenções cartográficas. A questão mais importante é traçar sobre a planta as curvas horizontais que devem representar as formas do terreno levantado. Essas curvas, denominadas curvas de nível podem ser obtidas diretamente ou por interpolação. O primeiro método é mais moroso, pois cada curva deve ser amarrada planimetricamente por pontos, mas resulta mais exata em seu conjunto. O segundo método, menos preciso, porém mais rápido e cômodo, tem maior aplicação. Desde que haja bastante critério na escolha dos pontos no terreno e na indicação dos esquemas de campo, os resultados também são satisfatórios (ESPARTEL, 1965).

De acordo com Tuler e Saraiva (2014), independente do processo de representação do relevo, ele deve satisfazer as seguintes condições:



- Realçar da forma mais expressiva possível as formas do relevo;
- Permitir determinar, com precisão compatível com a escala, a cota/altitude de qualquer ponto do terreno;
- Permitir elaborar projetos geométricos a partir dessa representação.

De acordo com Silva e Segantine (2015), para que um projeto de engenharia possa ser desenvolvido ou implantado, é necessário, em muitos casos, conhecer o relevo do terreno da obra. O projeto de uma via de transporte, de uma barragem, de uma rede de esgoto ou de um loteamento, entre outros, somente pode ser desenvolvido pelo projetista, além da localização geográfica dos elementos, se tiver também uma representação do relevo indicando as elevações e depressões do mesmo. Existem várias formas de representação do relevo, entre elas, as que se destacam mais são:

- Representação por pontos cotados
- Representação por curvas de nível
- Representação por perfil de terreno
- Representação por modelo digital de elevação

As práticas de campo para obter dados (pontos cotados), de forma a permitir tais representações são combinações de métodos planimétricos e altimétricos, atualmente, através de nivelamento trigonométrico por estação total ou levantamento GNSS. O mesmo ocorre para produção da planta topográfica com curvas de nível ou modelo digital de elevação, derivada dos pontos cotados. Geralmente para construção de perfis aplica-se o nivelamento geométrico para obtenção das cotas dos pontos.

Conforme Silva e Segantine (2015) existem basicamente dois procedimentos de campo para a coleta de dados para a representação do relevo:

- **Levantamento de pontos na forma de uma malha regular:** consiste em demarcar sobre o terreno uma área quadriculada, referenciada a algum elemento destacado do levantamento ou do terreno, geralmente com pontos



equidistantes a cada 20 metros e, realizar o levantamento altimétrico deles, geralmente por nivelamento geométrico.

- **Levantamento de pontos na forma de uma rede irregular:** consiste em levantar os pontos distribuídos irregularmente sobre o terreno, em função dos acidentes geográficos. Geralmente é realizado por nivelamento trigonométrico (irradiação) ou por nivelamento GNSS.

4.1 Pontos Cotados

A forma mais simples de representar a altimetria, de acordo com Espartel (1965) é o plano cotado (atualmente denomina-se ponto cotado), no qual as projeções dos pontos característicos do terreno têm a seu lado as respectivas cotas, referidas a um *datum* arbitrário ou altitudes ortométricas referidas ao *datum* vertical.

Ele consiste em basicamente plotar sobre um desenho as coordenadas (X, Y, Z) dos pontos considerados importantes para a representação gráfica em questão (SILVA E SEGANTINE, 2015). Os pontos podem ser obtidos por nivelamento trigonométrico ou GNSS. Ver Figura 14. Se o número de pontos for suficiente, a orografia do terreno ficará bem caracterizada e poderá ainda, para proporcionar uma ideia mais clara do conjunto do terreno, ser preenchida com curvas de nível.

Quando se necessita de uma alta densidade de pontos o engenheiro pode recorrer ao uso de *scanner* a laser terrestre ou aéreo, dependendo da precisão exigida para o levantamento. Neste caso é possível obter uma nuvem de pontos em três dimensões, que dependendo da sua densidade, permite uma visualização em perspectiva detalhada da área levantada.

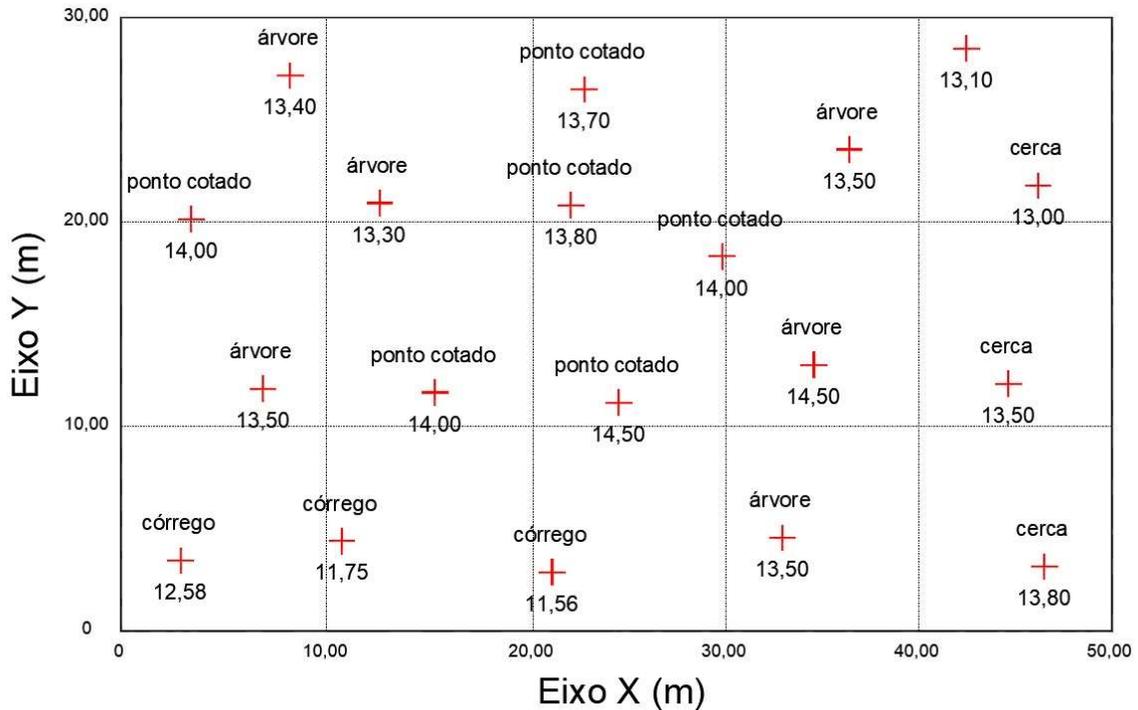


Figura 14: Planta com Pontos Cotados distribuídos de forma não uniforme.

4.2 Curvas de Nível

As curvas de nível, curvas horizontais ou hipsométricas são isolinhas ou linhas imaginárias que ligam pontos na superfície do terreno que têm a mesma cota/altitude. É uma forma de representação gráfica de extrema importância, pois a planimetria possui representação gráfica de acordo com uma área plana: a planta (projeção horizontal).

A altimetria, representada graficamente através de curvas de nível, proporciona uma visão panorâmica do relevo contido no interior da área, o que permite ao usuário uma visão geral da sinuosidade do terreno. Qualquer profissional habilitado ao observar uma planta com curvas de nível, deve ser capaz de visualizar talwegues, pé e crista de taludes, vales, grotas, espigões, divisores de água pluviais, terrenos com maior ou menor declividade, terrenos mais ondulados (acidentados), elevações, etc. Esta visualização é importantíssima para que o projetista possa imaginar projetos conscientes e adaptados ao terreno em que os mesmos serão implantados.



Para o traçado das curvas de nível os pontos notáveis do terreno (aqueles que melhor caracterizam o relevo) devem ser levantados através de métodos de levantamento planialtimétricos e, através de interpolação gráfica ou numérica, devem definir as curvas.

Para Silva e Segantine (2015) pode-se imaginar as curvas de nível como o traçado de extremidades das superfícies horizontais geradas pela intersecção de vários planos horizontais paralelos com a massa do terreno, de acordo com a Figura 15. Já para Espartel (1965), a curva de nível (horizontal) é a linha de intersecção obtida por planos paralelos, equidistantes, com o terreno a representar. Assim, nas Figuras 15 e 16 são indicadas as duas projeções, horizontal e vertical, de um montículo isolado do terreno, e de uma escarpa rochosa no qual se veem os planos zero, 10 m, 20 m, etc. e o traçado, em projeção horizontal, das respectivas curvas de nível.

De acordo com Tuler e Saraiva (2014), no traçado da curva de nível, a cada cinco curvas, apresenta-se uma denominada “**curva mestra**”, em que o valor da cota/altitude é registrada no terreno. A espessura de seu traço também é diferenciada. As demais curvas são denominadas “**curvas intermediárias**”.

As curvas de nível devem ser traçadas a partir dos pontos notáveis definidores do relevo, passando pelas interpolações controladas nas altitudes ou cotas entre pontos de detalhe. As curvas mestras, espaçadas de cinco em cinco curvas, devem ser reforçadas e cotadas. No caso de haver poucas curvas mestras, as intermediárias também devem ser cotadas (ABNT, 1994).

A distância vertical que separa dois planos horizontais consecutivos deve ser constante. Ela determina a equidistância das curvas de nível no desenho, cujo valor depende das diretrizes do projeto para o qual as curvas estão sendo representadas e da escala do desenho. A equidistância entre um plano e outro chama-se Equidistância Vertical (EV), e é obtida em função da escala da carta, tipo do terreno e precisão das medidas altimétricas. A EV varia a depender do tipo de produto.

A distância vertical (equidistância vertical EV) entre as curvas de nível é definida pela escala do desenho e pelo rigor com que se pretende

representar o relevo. Além disso, ao se fixar um EV, esse se torna constante para a planta em questão (TULER E SARAIVA, 2014).

De acordo com Silva e Segantine (2015), geralmente as curvas são desenhadas em intervalos de 1, 5, 10, 25 e 50 metros com os valores das altitudes indicados a cada quinta curva (mestra), a qual é destacada no desenho com um traço colorido ou espessura diferente (mais grossa). Em alguns casos, além das curvas de nível, é necessário indicar também alguns pontos notáveis sobre o terreno para representar pontos críticos do mesmo, como picos, depressões, entre outros. No caso da cartografia sistemática brasileira, o intervalo entre curvas de nível obedece a um critério relacionado à escala da carta, que pode ser utilizado, no caso de produção de plantas topográficas ou ser modificado a depender do relevo do terreno. Ver Quadro 07.

A ordem dos valores das curvas de nível indica se elas representam uma elevação ou uma depressão. Se as curvas de nível de menor valor envolverem as curvas de maior valor, tem-se uma elevação. No caso contrário, uma depressão (SILVA E SEGANTINE, 2015).

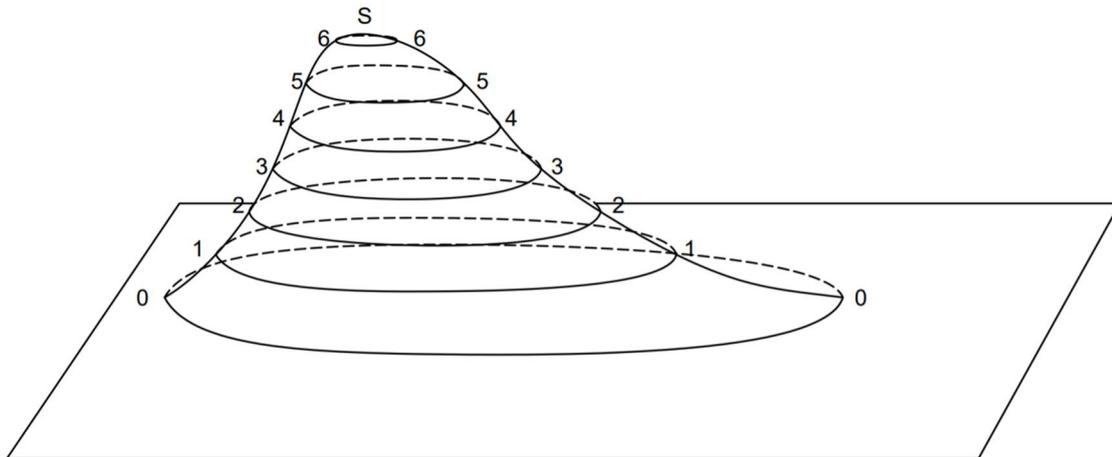


Figura 15: Vista em perspectiva de um montículo

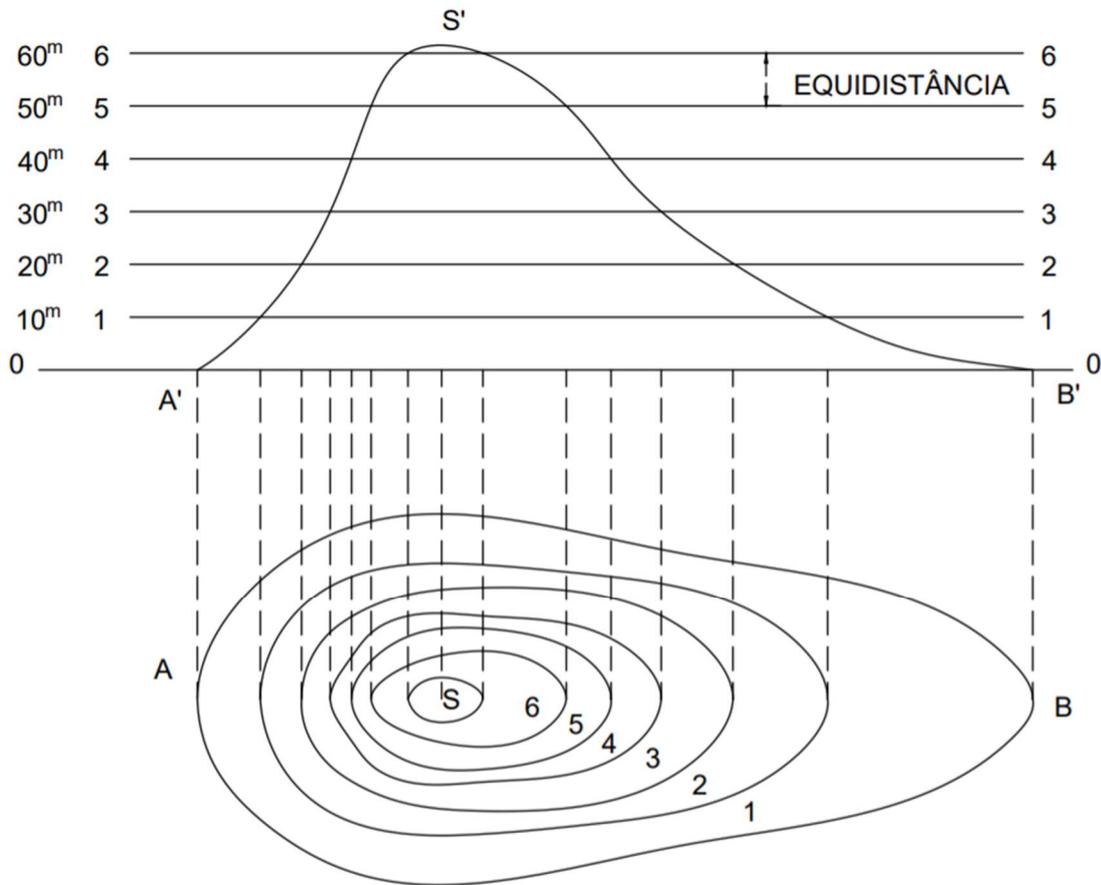


Figura 16: Projeção horizontal e vertical de um montículo

Quadro 07: Equidistância de curvas de nível

Aplicação	Escala	Equidistância
Planta Topográfica	1:500	0,25 a 0,50 m
Planta Topográfica	1:1.000	1,00 m
Planta Topográfica	1:2.000	2,00 m
Planta Topográfica	1:5.000	5,00 m
Planta Topográfica	1:10.000	10,00 m
Cartografia Sistemática	1:25.000	10,00 m
Cartografia Sistemática	1:50.000	20,00 m
Cartografia Sistemática	1:100.000	40,00 m
Cartografia Sistemática	1:250.000	100,00 m
Cartografia Sistemática	1:500.000	200,00 m

As curvas de nível podem ser regulares ou irregulares, abertas ou fechadas, concêntricas ou não, tudo dependendo da forma da elevação ou depressão selecionada. Quanto ao traçado, as curvas de nível têm de obedecer a regras na sua determinação. Algumas propriedades são características, a citar:

- Toda curva de nível deve se fechar em si mesma;



- As curvas de nível são perpendiculares à direção de máxima declividade do terreno;
- A declividade entre duas curvas consecutivas é considerada uniforme;
- Curvas de nível muito afastadas representam terreno plano (suave);
- Curvas de nível muito próximas representam relevo acidentado (rugoso);
- A distância horizontal entre as curvas de nível indica a taxa de declividade do terreno. Maior espaçamento indica menor declividade e vice-versa;
- As curvas de nível são "lisas", ou seja, não apresentam cantos;
- Duas curvas de nível jamais devem se cruzar ou se encontrar;
- Duas ou mais curvas de nível não podem convergir para formar uma curva única;
- A cor utilizada para representação é o castanho (sépia).

4.2.1 Métodos de interpolação e traçado de curvas de nível

De acordo com Silva e Segantine (2015), o desenho das curvas de nível é realizado baseando-se nos valores dos pontos altimétricos indicados na planta topográfica e nos acidentes geográficos destacados durante o levantamento de campo. Cabe salientar a necessidade de inserir primeiramente as coordenadas planas dos pontos na planta. O número de pontos e sua posição no terreno influenciarão no desenho final das curvas de nível.

O processo, conforme os autores, constitui-se em encontrar os pontos de valor de cota/altitude inteira e conectá-los por uma linha sinuosa, que represente a variação do relevo do terreno. O que se faz na prática é, a partir de uma malha de pontos, encontrar dois pontos com cotas/altitudes conhecidas, interpolar a posição referente a um ponto com cota/altitude igual a cota/altitude da curva de nível que será representada. A curva de nível será representada a partir destes pontos. Entre os métodos de interpolação mais importantes destacam-se a interpolação gráfica e a numérica, ambas executadas de forma manual. Existe também a interpolação automatizada realizada através de *softwares* específicos donde podem ser gerados modelos digitais de elevação.



A **interpolação gráfica** se baseia em diagramas de paralelas e divisão de segmentos. São processos lentos e atualmente pouco aplicados. Por este motivo esse método não será apresentado nesta apostila.

A **interpolação numérica** é um método que consiste em determinar os pontos de cota/altitude inteira e múltiplos da equidistância vertical por semelhança de triângulos, onde se utiliza uma regra de três para interpolar curvas de nível. Devem ser conhecidas as cotas/altitudes dos pontos, a distância entre eles e a equidistância vertical (EV) das curvas de nível.

Para desenhar as curvas de nível é necessário definir primeiramente a EV que será utilizada. No exemplo que vamos utilizar a EV é de 10 m.

- **1º passo:** Começar de forma ordenada, por sub malha, seja ela triangular ou retangular. Ver exemplo da Figura 17a, onde está sendo apresentada uma sub malha de formato quadrangular, onde os pontos cotados estão em vermelho. Note que as distâncias horizontais DH_1 e DH_2 são diferentes.
- **2º passo:** para auxiliar no traçado pode ser desenhada uma linha auxiliar na diagonal da sub malha onde ocorrer a maior DN, ou seja, no exemplo da Figura 17b foi desenhada a diagonal em vermelho entre os pontos de cota 50 e 100, pois entre eles ocorre a maior DN e, portanto, é nessa linha que devem ser plotados os pontos auxiliares a seguir.
- **3º passo:** para cada linha da sub malha meça a distância horizontal (DH) e anote. Faça o mesmo para a diagonal. Para cada DH medida, verifique e anote o valor da DN, ou seja, a diferença de cotas entre os pontos contidos na sub malha. Por exemplo, na Figura 17, a DH_1 vai corresponder a uma DN de 30 ($100 - 70$) e na Figura 17b, a DH_3 vai corresponder a uma DN de 50 ($100 - 50$).
- **4º passo:** com a EV de 10 m, agora basta aplicar a regra da proporcionalidade entre a distância (DH) medida entre os pontos e a distância (DH) necessária para encontrar a próxima curva de nível, ou seja, no exemplo da Figura 17c, podem ser observados os pontos que foram calculados para cada EV (todos

os pontos que estão descritos em preto foram calculados usando regra de três entre a DH e DN).

- **5º passo:** por último basta desenhar a curva de nível ligando os pontos de mesma cota. Perceba na Figura 17d que os pontos do meio não precisariam ter sido plotados. Mas de qualquer forma, como a curva de nível não deve ser retificada, eles auxiliam para obter um traçado mais sinuoso. A linha auxiliar diagonal (vermelho na Figura 17b) pode ser apagada, bem como o excesso de cotas.

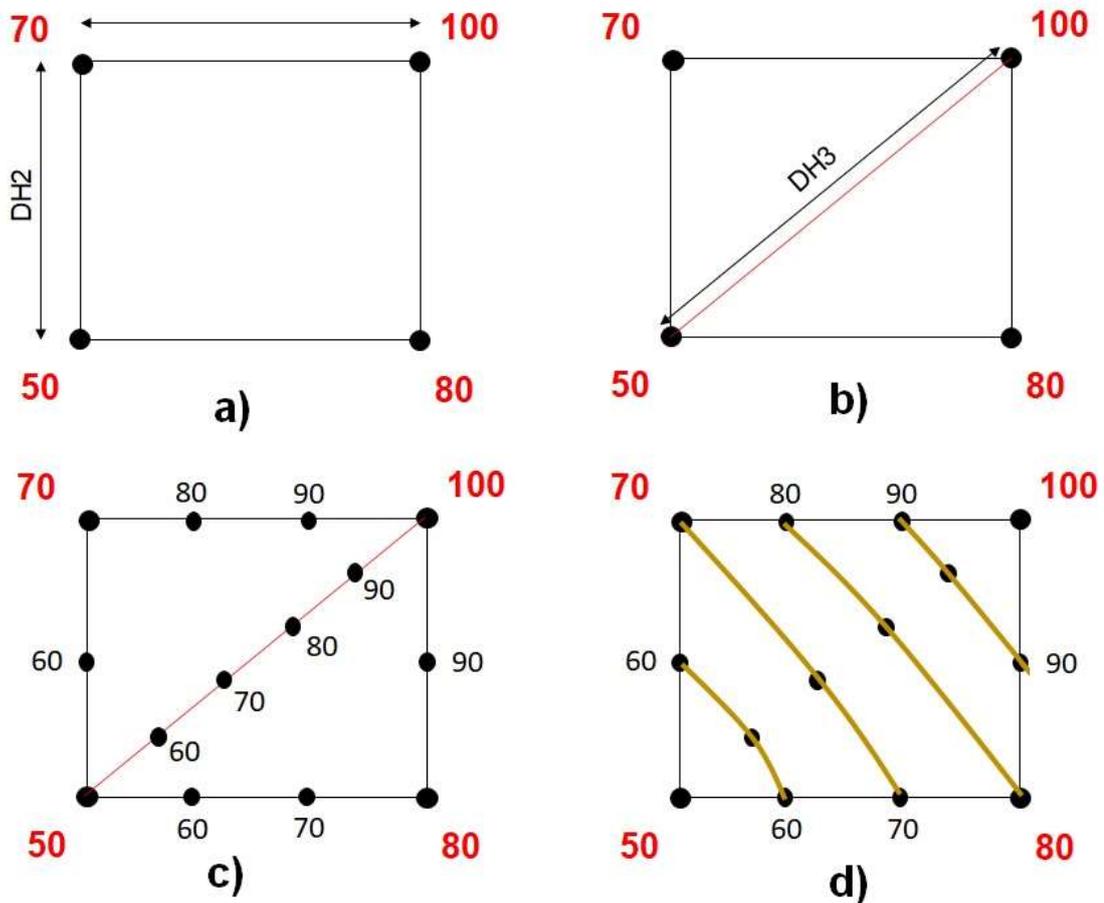


Figura 17: Exemplo de traçado de curvas de nível

4.3 Perfis longitudinais e transversais

Quando se realiza um trabalho de nivelamento, com finalidade de conhecer particularidades do terreno, considerando uma seção vertical (corte vertical), pode-se representar elementos altimétricos (cota/altitude) por meio de perfis



longitudinais e transversais. Esse processo de representação é muito utilizado na engenharia, desde o planejamento até a execução do projeto (TULER E SARAIVA, 2014).

De acordo com os autores, especificamente em um projeto de vias (rodovias, ferrovias, etc.) o conhecimento do relevo por meio do estudo de perfis é de fundamental interesse para sua viabilização. Entre as utilidades do projeto, temos:

- Escolha do melhor traçado das vias de transporte
- Projetos de gasodutos, eletrodutos, entre outros
- Estudo da drenagem
- Estudo de volumes de jazidas
- Estudo e definição do greide de projeto
- Definição de rampas de projeto
- Estudo de inclinação dos taludes e definição das distâncias de *offset*
- Estimativas de volumes de corte e aterro, etc.

Conforme Silva e Segantine (2015), a representação do perfil de um terreno corresponde a representação gráfica de um corte vertical do relevo deste terreno, mostrando suas elevações e depressões ao longo de um alinhamento definido sobre ele. A representação é realizada indicando as cotas/altitudes dos pontos característicos do terreno e as distâncias entre eles e, ao longo do alinhamento, sobre um plano reticulado, conforme a Figura 18.

De forma resumida um perfil é a representação gráfica das DN, cotas ou altitudes obtidas em um nivelamento, considerando um plano vertical de visada. É utilizado quando se deseja representar particularidades de um terreno para fins de projetos, tratando-se de um processo rigoroso de representação de elevações e depressões de determinado terreno.

No traçado do perfil, a representação do terreno no desenho é feita por meio de eixos de coordenadas, onde as distâncias são indicadas sobre o eixo X (abscissas) do desenho e as cotas/altitudes são indicadas no eixo Y (ordenadas).



Os valores de cota/altitude podem ser inseridos de forma absoluta ou relativa (diferenças de cota/altitude) no eixo Y.

Uma vez que os desníveis do relevo são bem menores em relação à distância de interesse, nos desenhos de perfis, geralmente, aplicam-se escalas independentes para os eixos X e Y. Logo, para melhor visualização do relevo, normalmente a escala vertical é exagerada em fatores que variam entre dois e dez em relação a escala horizontal. A esse processo denomina-se **Exagero Vertical**.

O desenho do perfil pode ser construído a partir de três formas:

- Dados de levantamentos de campo, a partir do nivelamento de uma seção: opção mais precisa pois se relaciona a precisão do nivelamento, que pode ser milimétrico (geométrico) ou centimétrico (trigonométrico);
- Dados extraídos a partir de plantas com curvas de nível: aplicada a construção de projetos onde a precisão é relacionada a escala da planta ou carta e à equidistância das curvas de nível.
- Dados extraídos de Modelos Digitais de Elevação (MDE). Nestes casos o gráfico de perfil é gerado computacionalmente.

4.3.1 Perfil longitudinal

Os perfis longitudinais são obtidos por seções longitudinais construídos a partir do nivelamento ao longo de um caminhamento estaqueado (eixo longitudinal).

Inicialmente, o eixo longitudinal é definido e os pontos em intervalos regulares são marcados por estaqueamento, ao longo de um eixo (alinhamento) determinado sobre o terreno e espaçadas (normalmente) com um ponto a cada 20 m em retas e 10 m em curvas e determinando-se as cotas/altitudes dos pontos estaqueados através de nivelamento geométrico. Quando existirem pontos intermediários às estacas que determinem elementos topográficos de destaque, os mesmos deverão ser considerados e nivelados também.

O perfil longitudinal é considerado natural quando a escala do eixo horizontal é igual à do eixo vertical, sem utilização do exagero vertical. Ver exemplo de perfil longitudinal na Figura 18, onde foi utilizado um exagero vertical de dez vezes, ou seja, escala horizontal 1:200 e escala vertical 1:20.

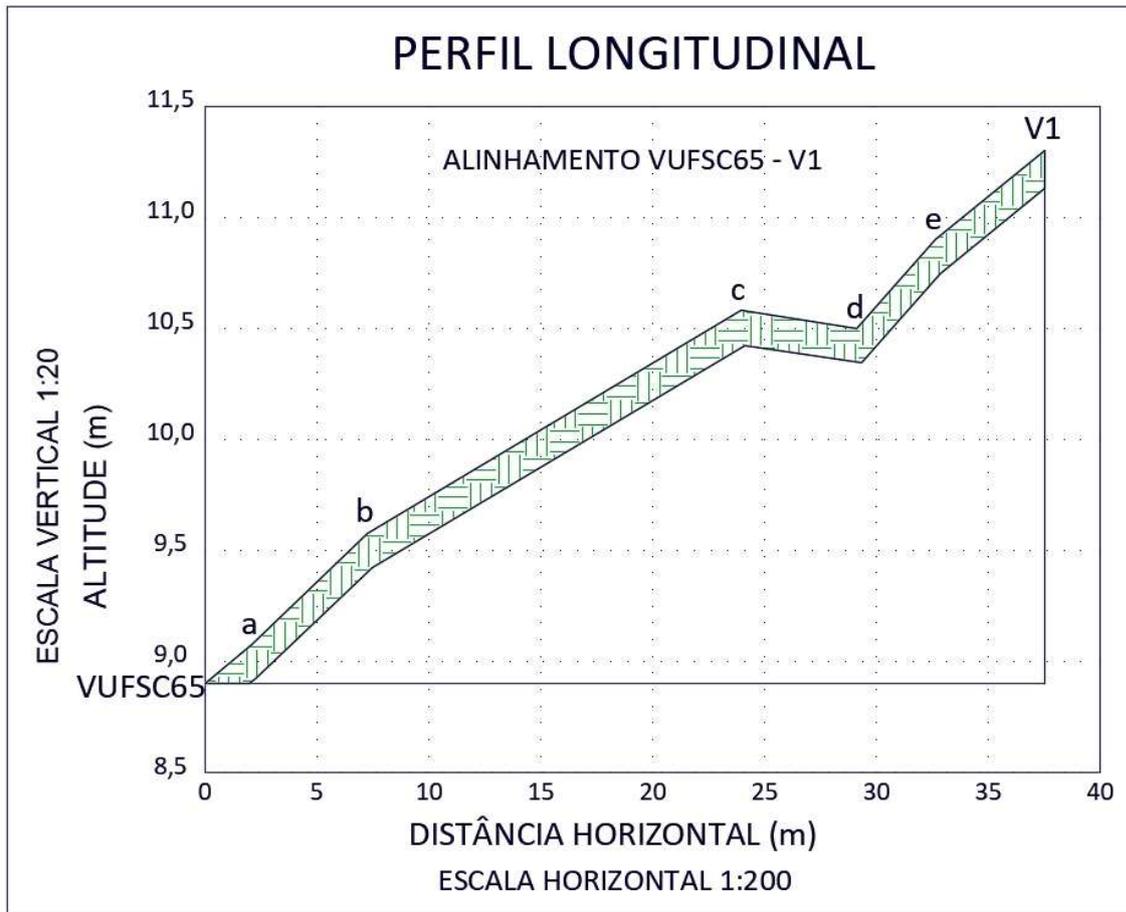


Figura 18: Perfil Longitudinal

O planejamento e a locação detalhada de estradas de rodagem, ferrovias, canais, linhas de redes, utilizam perfis longitudinais, pois o mesmo auxilia no cálculo de terraplenagem e na definição do melhor projeto das vias em função da topografia.

4.3.2 Perfil Transversal

Existem casos, de acordo com Silva e Segantine (2015) que, além do perfil longitudinal, o projeto exige o levantamento de seções transversais ao longo do perfil, conforme indica a Figura 19. O procedimento de campo, tanto para



nivelamento do perfil longitudinal ou das seções transversais é o mesmo. Perfis transversais são a interseção de um plano vertical com o terreno, transversalmente ao longo de uma determinada linha longitudinal (estaqueamento), logo está sempre amarrado à seção longitudinal. São de grande utilidade em engenharia, principalmente no estudo do traçado de estradas.

Obtém-se as seções transversais efetuando sobre os pontos do estaqueamento e sobre os pontos que determinam os elementos topográficos de destaque, o nivelamento das linhas perpendiculares ao sentido do estaqueamento (seções transversais). As distâncias entre o ponto do instrumento até os pontos da seção transversal podem ser determinadas com uma trena ou por estadimetria. O espaçamento é costumeiramente de 5 em 5 metros a partir deste ponto estaqueado (de cota/altitude conhecida) e são levantados pontos fora do intervalo se estes forem pontos característicos da seção. De acordo com o sentido do desenvolvimento da poligonal ou eixo considerado, as seções situadas de um lado e outro desse alinhamento são denominadas seções à direita ou seções à esquerda.

Entretanto as seções transversais utilizadas em projetos representam não somente o terreno, mas o projeto também, para que desta forma seja visualmente possível compreender as alterações a serem efetuadas no terreno. Nos projetos são definidas algumas seções transversais padrão para o projeto, denominadas seção-tipo. A depender da complexidade do projeto várias seção-tipo podem ser definidas para um mesmo projeto.

No processo de levantamento de campo das seções transversais são comumente utilizados os métodos geométricos a nível ou à régua e os métodos trigonométricos com a estação total. Na técnica de nivelamento de seção a régua, empregam-se uma régua horizontal e uma vertical, ambas graduadas convenientemente. A horizontalidade será obtida com nível de bolha, por exemplo, nível de pedreiro.

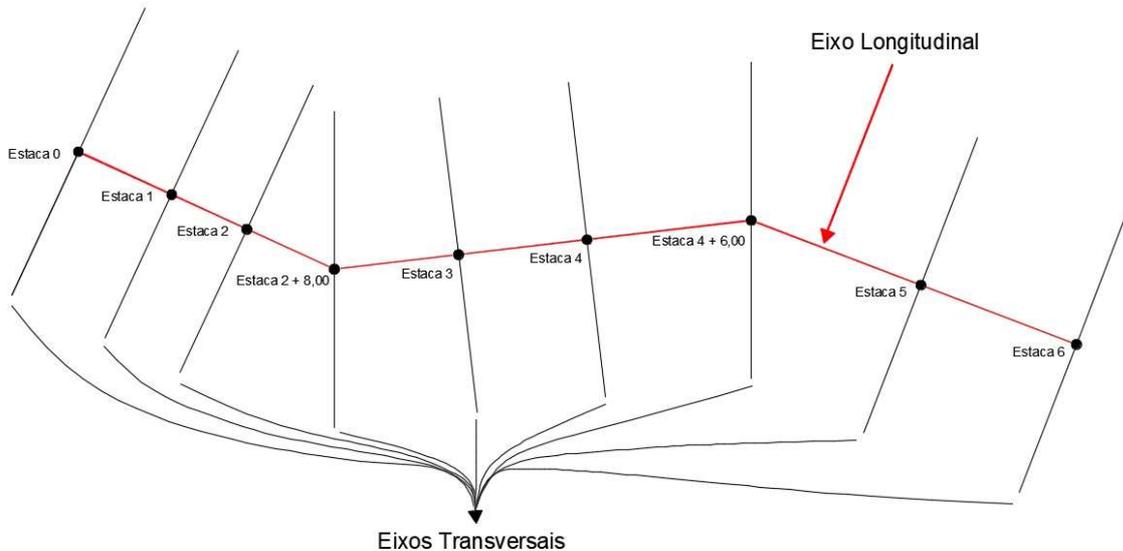


Figura 19: Representação de um alinhamento com indicação de seções transversais.

4.4 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com o advento da tecnologia, o procedimento de traçado de perfil a partir de interpolação de pontos em uma planta com curvas de nível perdeu sua utilidade. Atualmente são utilizados sistemas de modelagem numérica para obter qualquer perfil definido sobre o modelo, bastando, conforme Silva e Segantine (2015), que o usuário indique o alinhamento desejado sobre a superfície.

Informações sobre elevação são utilizadas para uma série de aplicações práticas, como o mapeamento de áreas de inundação, planejamento regional e urbano, localização de áreas para instalação de obras e projetos, geração de perfis longitudinais e transversais, cálculo de volumes, projetos de terraplenagem, maquetes eletrônicas entre outros.

Um modelo digital de elevação (MDE) é um arquivo ou base de dados contendo pontos de elevação em uma área contígua. Podem ser divididos, de acordo com Jensen (2011) em:

- **Modelos digitais de superfície (MDS):** quando contém informação de elevação com todas feições relacionadas a paisagem, vegetação, edificações e outras estruturas;



- **Modelos digitais de terreno (MDT):** quando contem informação da superfície desnuda da Terra.

Um modelo digital é uma rede (quadrangular ou triangular) que transmite ao usuário as características espaciais do terreno e sua construção envolve cinco fases:

- 1) Amostragem:** aquisição de amostras do fenômeno de interesse;
- 2) Pré-processamento:** preparo dos dados de entrada (sistema geodésico de referência, projeção cartográfica, distribuição homogênea de pontos sobre a área de interesse, definição de qualidade, entre outros);
- 3) Modelagem:** criação de estruturas de dados e a definição de superfícies, ou seja, a interpolação, que envolve a determinação de valores desconhecidos de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados de forma discreta;
- 4) Pós-processamento:** eliminação de depressões espúrias;
- 5) Validação:** reconhecimento visual, superposição de curvas de nível ou comparação estatística com pontos de controle.

Os levantamentos de campo utilizando métodos convencionais como GNSS ou estação total fornecem informações mais precisas. Entretanto, os trabalhos de campo demandam tempo e tem um alto custo por ponto adquirido (JENSEN, 2011). Mesmo com equipamentos do tipo GNSS, geralmente é difícil obter pontos em áreas com vegetação densa. Devido a esses obstáculos, a densidade de observação em três dimensões (3D) em uma área é muito baixa. Isso torna necessário a interpolação entre pontos distantes para se produzir um MDT de uma área.

Em topografia, o MDT visa representar a superfície do terreno levantada, de forma a obter um conjunto de informações necessárias aos cálculos de áreas superficiais, curvas de nível, mapas de declividades, perfil, áreas de inundação e



visualização em 3D, ou seja, é o ponto base para todos os trabalhos de planialtimetria e volumetria.

Na aquisição destes dados, realizada por levantamentos planialtimétricos de campo, o método de aquisição de dados deve ser por pontos amostrados com espaçamento irregular e/ou regular. O cuidado na escolha dos pontos e a quantidade de dados amostrados estão diretamente relacionados com a qualidade do produto final de uma aplicação sobre o modelo.

Para aplicações onde se requer um grau de realismo maior, a quantidade de pontos amostrados, bem como o cuidado na escolha desses pontos, ou seja, a qualidade dos dados, é decisiva. Quanto maior a quantidade de pontos representantes da superfície real, maior será o esforço computacional para que estes sejam armazenados, recuperados, processados, até que se alcance o produto final da aplicação, porém a qualidade dos dados será melhor.

Existem diversos métodos de interpolação baseados em ferramentas matemáticas e geoestatísticas. Para tanto é necessário dispor de softwares específicos para isso, como *ArcGIS*, *QGIS*, *Surver*, entre outros, que possuam funções para realizar a interpolação de forma automática. Cada método ou função tem o seu próprio conjunto de parâmetros, que permite ser personalizado para um conjunto de dados e os requisitos em particular para a saída gerada. Alguns deles são:

- **Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW):** pressupõe que as informações mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. É rápido e requer pouco custo computacional. Sua desvantagem é a geração de efeito mira (olho de boi);
- **Krigagem (*kriging*):** procedimento avançado de geoestatística que gera uma superfície estimada de um conjunto disperso de pontos com z-valores (semi-variograma). Sua vantagem é a não geração de efeito mira;



- **Vizinho Natural:** método que não extrapola valores (somente para o interior do domínio dos dados). Utiliza polígonos de Thiessen para avaliação de pesos para os pontos através da média ponderada dos pontos vizinhos;
- **Curvatura Mínima (Spline):** divide a série de dados em subconjuntos e utiliza polinômios de pequenas ordens para cada um. A soma deles é que forma a interpolação sobre o domínio. Gera curvas suaves e é fiel aos dados, mas não é um interpolador exato;
- **Topogrid (Topo to raster):** representa a drenagem natural e preserva linhas de cume (cria um MDE hidrologicamente correto). Estima uma grade regular de uma superfície plana discretizada através de um grande número de dados de elevação irregularmente espaçados, dados de linhas de contorno e dados de linha de fluxo. É o método mais indicado para gerar altimetria para projetos de engenharia que necessite de desníveis, como barragens, loteamentos, saneamento, estradas, dutos, entre outros.

Importante ressaltar que qualquer grandeza que possua uma característica espacial continua pode ser modelada, não necessariamente a altimetria, como, por exemplo, a pluviosidade, a temperatura, entre outros. No quadro 08 pode ser visualizado os principais parâmetros e aplicações obtidos a partir de um MDE.

Quadro 08: Principais parâmetros e aplicações obtidos a partir de um MDE.

Parâmetro	Definição	Possíveis aplicações
Hipsometria	Elevação, curvas de nível.	Clima, vegetação, energia potencial, etc.
Declividade	Relação entre DN e DH.	Velocidade dos fluxos, taxas de escoamento, vegetação, geomorfologia, presença de água no solo, definição de áreas de risco.
Aspecto	Azimute da inclinação das encostas	Insolação, evapotranspiração, distribuição da flora e da fauna, análise de estabilidade do talude.
Curvatura do perfil	Perfil da curvatura do talude.	Aceleração do fluxo, taxa de erosão/deposição.
Plano de curvatura	Curvatura da região de contorno.	Convergência/divergência do fluxo, presença de água no solo.
Área de contribuição à montante da encosta	Área de contribuição da região de contorno que capta água que é conduzida ao local de escoamento à jusante.	Volume de escoamento, taxa de escoamento permanente, características do solo, presença de água no solo, geomorfologia.
Área de dispersão de talude	Área à jusante da encosta	Áreas inundadas, taxa de drenagem do solo.



Extensão da trajetória do fluxo	Distância máxima do fluxo de água em relação ao local de captação.	Taxa de erosão, deslocamento de sedimentos, tempo de concentração.
---------------------------------	--	--

Fonte: Adaptado de Tuler e Saraiva (2014).



5. PLANIALTIMETRIA

Durante a disciplina de Topografia I na UFSC é estudada a planimetria, onde são aplicados métodos e equipamentos com a finalidade de representar a superfície terrestre em duas dimensões, desta forma a disciplina é focada no levantamento e cálculo das coordenadas X e Y ou E e N e sua respectiva representação bidimensional em uma planta topográfica.

No início da disciplina de Topografia II, também na UFSC, se estuda a altimetria, seus métodos e equipamentos para representar o relevo, focando na obtenção da componente Z (h, H) para compor o par de coordenadas da planimetria. Especificamente se estuda o nivelamento geométrico e a geração de perfis.

Neste capítulo o objetivo é apresentar a planialtimetria, onde as medidas planimétricas e altimétricas são obtidas através de métodos simultâneos das três dimensões (X, Y e Z) com a finalidade de produzir uma planta topográfica tridimensional, ou seja, com curvas de nível e/ou pontos cotados.

Na planialtimetria, as medidas angulares e lineares são tomadas considerando os planos horizontal e vertical, com o objetivo de levantar dados para a construção da planta topográfica. A proposta da planialtimetria é utilizar os processos planimétricos e altimétricos para representação de determinado trecho da Terra, que possa conter informações planimétricas (limites de propriedades, cadastro de benfeitorias, rios, estradas, etc.) e altimétricas (delimitação de vales, linhas de cumeada, talvegues, etc.) (TULER E SARAIVA, 2014).

Existem diversos métodos que podem ser utilizados para realizar o levantamento simultâneo das coordenadas tridimensionais (X, Y e Z), desde métodos de baixa a média precisão, como a taqueometria, até os que fornecem alta precisão como o nivelamento trigonométrico. Também podem ser utilizados outros métodos modernos para aquisição do terreno, como o uso de GNSS.

5.1 Nivelamento Trigonométrico

Nivelamento Trigonométrico é aquele que opera com visadas inclinadas, sendo que as coordenadas planas são obtidas através de poligonação,

triangulação ou trilateração (métodos da planimetria já estudados em Topografia I) e as DN são determinadas indiretamente por resolução de triângulos retângulos, conhecendo-se a base do triângulo e o ângulo vertical ou zenital formado entre o instrumento e o ponto visado.

A medição de ângulos verticais é realizada por intermédio de um círculo vertical graduado instalado num plano paralelo ao plano que contém o eixo vertical do instrumento (SILVA E SEGANTINE, 2015). O círculo vertical, neste caso, permite que sejam realizadas medições angulares no plano vertical entre a direção de um alinhamento no espaço e a horizontal do lugar. No exemplo da Figura 20 o ângulo vertical indicado pelo instrumento seria da ordem de 60° .

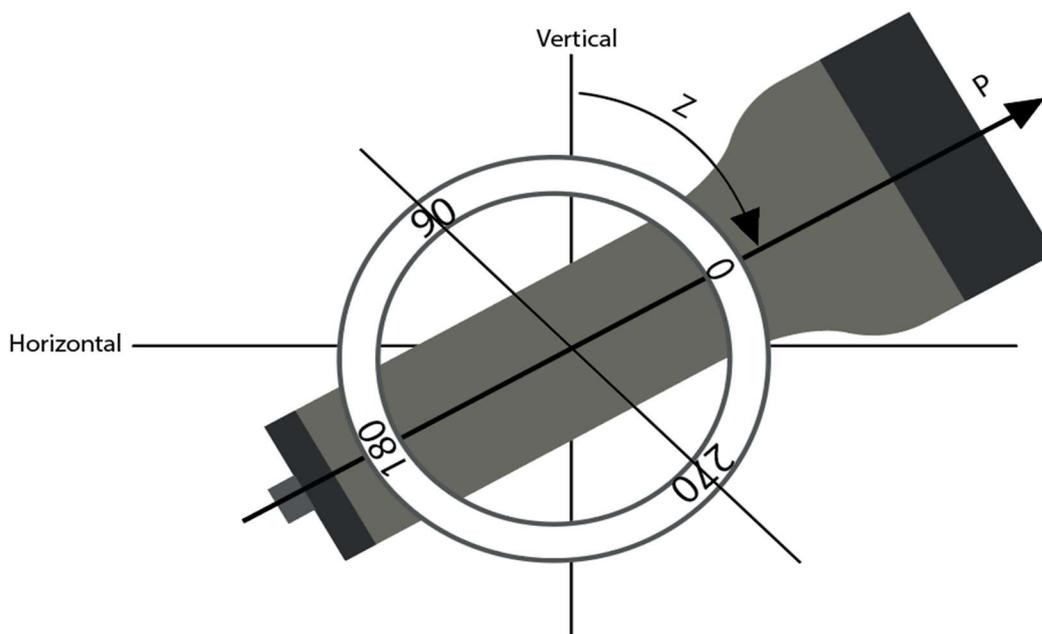


Figura 20: Medição de um ângulo vertical

Todo instrumento munido de um limbo vertical permite executar o nivelamento trigonométrico. O zero do limbo está colocado diferentemente segundo o aparelho, podendo ser vertical ou zenital (Figura 21):

- **Ângulo vertical de altura (α):** ângulo em relação ao plano horizontal do observador. Por convenção é positivo para cima e negativo para baixo em relação ao plano horizontal do observador.

- **Ângulo vertical zenital (Z):** ângulo em relação à vertical zenital do observador.

O nivelamento trigonométrico é mais rápido que o nivelamento geométrico, porém é menos exato porque um pequeno erro na medida do ângulo pode fornecer um erro sensível na DN. O método de acordo com Espartel (1965) baseia-se na resolução de triângulo retângulo ABC (Figura 21) conhecendo a distância horizontal da base $AB=D$ e o ângulo vertical “ α ”. Basicamente através do conhecimento de um dos catetos (distância horizontal) se procura determinar o outro cateto (diferença de nível) e para tal mede-se o ângulo entre ambos.

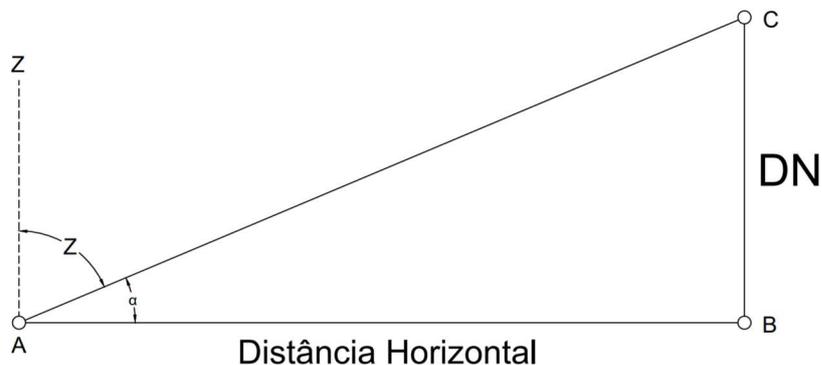


Figura 21: Ângulos vertical e zenital

O método trigonométrico é aplicado quando os pontos a nivelar estão a grandes distâncias ou em lugares altos e inacessíveis, como por exemplo um ponto situado no topo de um edifício, de uma torre ou de um morro. Veja um exemplo da Figura 22, onde devem ser considerados, também, a altura do instrumento (A_i) e a altura do prisma/bastão (A_p) utilizado.

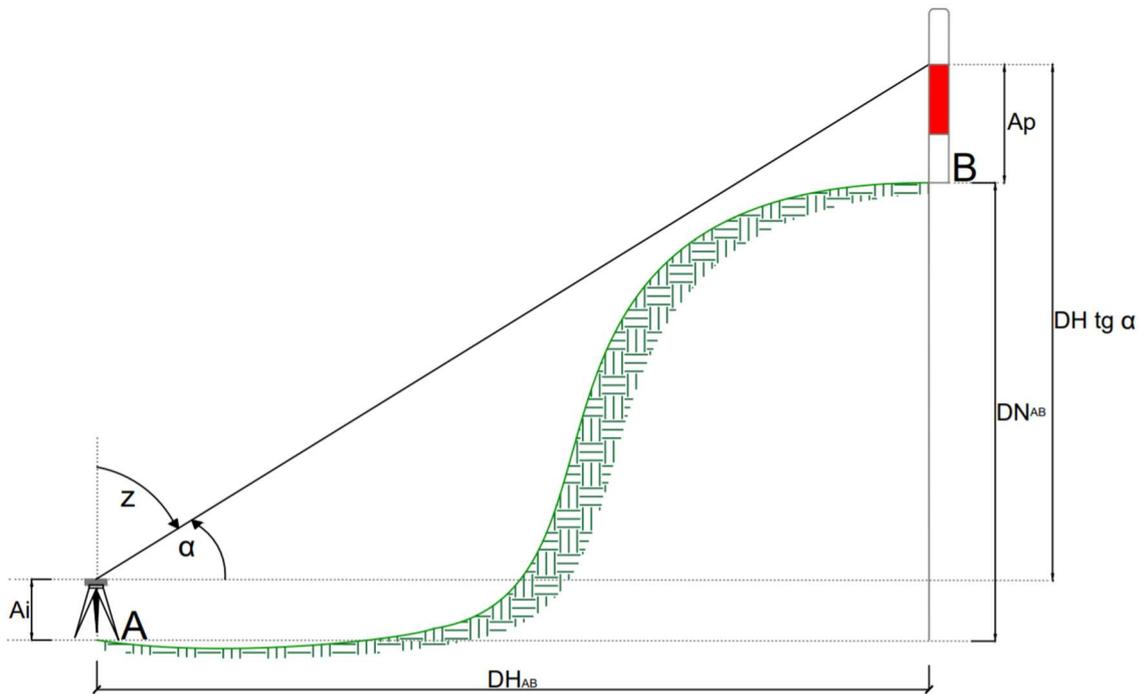


Figura 22: Nivelamento trigonométrico em ponto distante

Nos teodolitos que informam o ângulo vertical (α) a fórmula geral utilizada para calcular a DN, para os casos onde “ α ” for maior ou menor que 90° , é dada por:

$$\pm (HB - HA) = \pm DH(\operatorname{tg} \alpha) - Ap + Ai$$

Nos teodolitos que informam o ângulo zenital (Z), a fórmula geral utilizada para calcular a DN, para os casos onde “ Z ” for maior ou menor que 90° , é dada por:

$$\pm (HB - HA) = \pm DH(\operatorname{cotg} Z) - Ap + Ai$$

Nos casos que “ α ” for maior que 90° , se utiliza:

$$DN = DH(\operatorname{tg} \alpha) - Ap + Ai$$

Nos casos que “ Z ” for menor que 90° , se utiliza:

$$DN = DH(\operatorname{cotg} Z) - Ap + Ai$$

Onde:



DN = Diferença de nível

DH = Distância horizontal

α = Ângulo vertical

Z = Ângulo zenital

Ap = Altura do prisma

Ai = Altura do instrumento

Quando a extensão das visadas exceder a 150 m, o erro e nível aparente deve ser considerado e devem ser efetuadas as correções relativas à curvatura e refração atmosférica, conforme demonstração do item 2.2 e do Quadro 01.

5.1.1 Erro Zenital

Todo o aparelho após ser transportado deve ter seu erro zenital (ϵ) ou erro residual de seu limbo vertical verificado. O erro zenital ou residual do limbo vertical é um desvio da verticalidade de sua linha entre 0° e 180° (Figura 23). Para corrigir este erro, recomenda-se realizar a medição angular em posições opostas do círculo vertical, ou seja, realizar a medição na posição direta e na posição inversa da luneta. Para um instrumento com ângulo vertical medido nas posições direta (LD) e inversa (LI) da luneta temos:

$$LD + LI + \epsilon + \epsilon = 360^\circ$$

$$2 \epsilon + LD + LI = 360^\circ$$

$$2 \epsilon = 360^\circ - LD - LI$$

$$\epsilon = 180^\circ - ((LD + LI) / 2)$$

$$\epsilon^* = ((LD + LI) / 2) - 180^\circ$$

ϵ^* é o valor calculado pela fórmula acima, mas ao corrigir o ângulo zenital **o sinal deve ser trocado**. Por exemplo: LD = 82° 30' 20", sendo o valor do $\epsilon = -30''$, então a LD do ângulo zenital corrigida será: 82° 30' 20" + 0° 0' 30" = 82° 30' 50".

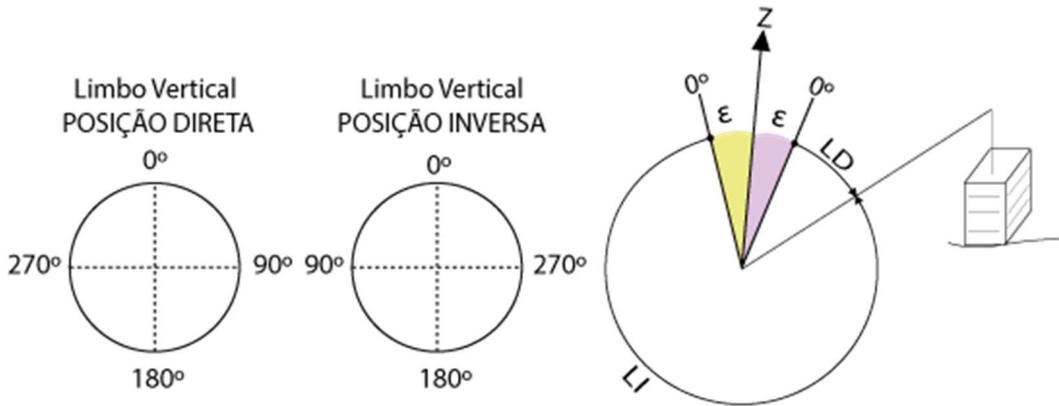


Figura 23: Posição direta e inversa do limbo vertical e erro zenital

5.1.2 Gramometria

A gramometria estuda os processos e instrumentos usados nas determinações de distâncias entre dois pontos. Tal distância pode ser obtida por processos diretos e indiretos (TULER E SARAIVA, 2014).

Nos **processos diretos** as distâncias são determinadas percorrendo-se o alinhamento. Genericamente os instrumentos destinados a medida direta são denominados diastímetros (ou trenas). De acordo com a precisão, os processos diretos podem ser classificados de acordo com a apresentação do Quadro 09.

Quadro 09: Classificação dos processos diretos segundo sua precisão.

Precisão	Tipo de instrumento
Baixa precisão (técnicas expeditas)	Passo (pedômetro) Odômetro veicular Régua graduada
Média precisão	Trena de lona Trena de aço Trena de fibra de vidro
Alta precisão	Fio invar

Na operação das medidas lineares deve-se ter o cuidado de avaliar sempre a projeção horizontal dos pontos considerados. Então, em terrenos inclinados, a medida tem que ser realizada com uma das extremidades no ponto mais alto e a outra em um ponto mais baixo, com auxílio de uma ou mais balizas. Ver Figura 24. Na medição de uma distância alguns erros devem ser corrigidos, enquanto outros devem ser evitados. O erro total ao executar uma medida é resultante de um conjunto destes erros. No Quadro 10 são apresentados os erros mais comuns que ocorrem em campo ao realizar medidas diretas.

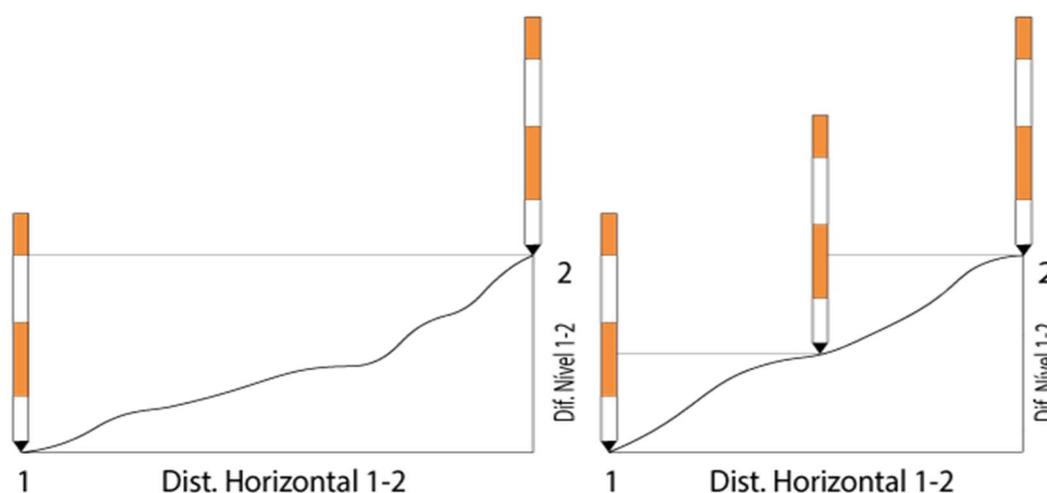


Figura 24: Medição horizontal do alinhamento 1-2.

Quadro 10: Erros comuns nas medidas de distância por processos diretos.

Erro, instrumento e tipo de correção
Erro de comprimento da trena: corresponde à diferença entre os tamanhos nominal e real da trena. Este erro deve ser corrigido. O ideal é que ocorra o descarte da trena quando ocorrer este erro.
Erro de dilatação da trena: atualmente se trata de um erro desprezível nas práticas topográficas. Deve ser corrigido quando houver uma grande diferença entre a temperatura do ambiente de aferição e a do ambiente de medição. > que 20° Celsius
Falta de horizontalidade da trena: os pontos 1 e 2 da Figura 25, por exemplo, devem ser projetados horizontalmente e, caso ocorra uma inclinação da trena, a distância obtida será sempre maior que a real. Esse erro deve ser evitado através de uma terceira pessoa verificando a horizontalidade da trena ou fazendo movimento lateral para verificar a menor leitura possível.
Erro de catenária da trena: erro proveniente do peso da trena devido à gravidade. Esse erro deve ser evitado através do tensionamento da trena pelas extremidades. Medir pequenos lances de distância ou adotar escoras intermediárias também ajuda a minimizá-lo. Ver figura 26.



Erro do desvio vertical da baliza: ocorre quando as balizas auxiliares não estão posicionadas verticalmente em relação ao ponto medido. A distância medida, neste caso, poderá ser maior ou menor que a distância real. Ver figura 27.

Erro do desvio lateral da trena: considerando dois pontos topográficos, a distância horizontal entre eles deve ser tomada materializando um alinhamento único, ou seja, um segmento formado pela intersecção do terreno com apenas um plano vertical, que contenha os pontos. Esse erro deve ser evitado através do uso de balizamento e equipamentos de visada. Ver figura 28.

Enganos: erro grosseiro do operador, por exemplo posicionamento equivocado do zero da trena, erro de leitura, omissão de trenadas, anotações erradas, entre outros. Estes erros devem ser evitados.

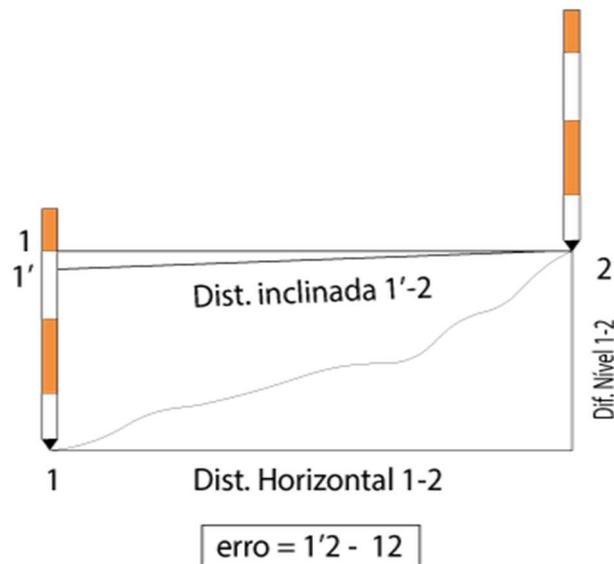


Figura 25: Horizontalidade da trena

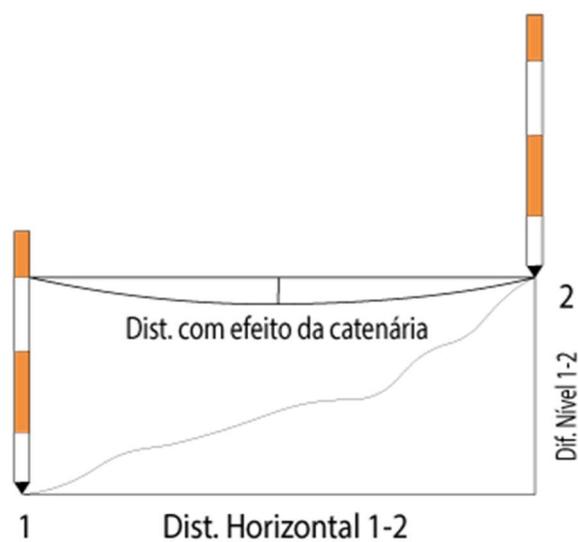


Figura 26: Erro de catenária

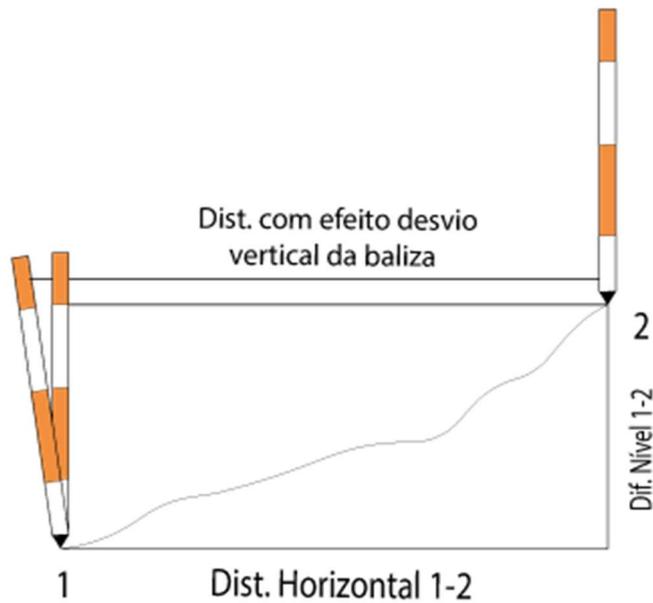


Figura 27: Desvio vertical da baliza

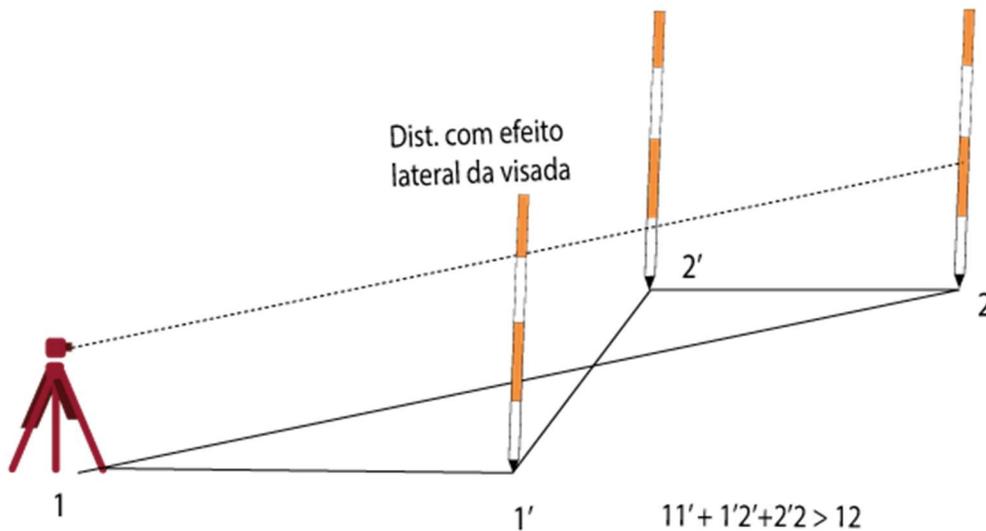


Figura 28: Desvio lateral da trena

Nos **processos indiretos** as distâncias são determinadas sem percorrer o alinhamento, obtidas por meio de visadas ou pelas coordenadas de suas extremidades. Os instrumentos de medida indireta de distância, com uso de visadas, são denominados distanciômetros, que podem ser ópticos, mecânicos e eletrônicos.



Atualmente, de acordo com Tuler e Saraiva (2014), os instrumentos mais utilizados em práticas topográficas indiretas são os medidores eletrônicos de distância (MED). Sendo que o principal é a estação total na medição de ângulos e distâncias de forma eletrônica. A Estação Total é uma espécie de teodolito eletrônico digital integrado com distanciômetro também eletrônico, montados em um só bloco, além de ser provido de memória interna para armazenar pontos observados em campo.

Já os instrumentos ópticos e mecânicos são os taqueômetros ou taquímetros, utilizados na taqueometria ou estadimetria, mas perderam aplicação com o avanço da utilização de instrumentos eletrônicos para obtenção de distância. Ver item 5.2.

Já a trena digital (ou *laser*) é um equipamento que permite obter distância horizontal e inclinada até um obstáculo/anteparo, com lances entre 5 cm e > 200 m, e precisões absolutas na ordem de +/- 2 mm. Algumas tem mira digital integrada, *bluetooth* e memória de armazenamento. São empregados, principalmente, no setor industrial e especialmente nas profissões relacionadas com a construção, como a carpintaria, alvenaria, serralharia, etc.

A distância também pode ser obtida por coordenadas dos pontos extremos de uma linha, por meio de GNSS (ver capítulo 7). Tal técnica é denominada processo inverso ou indireto da topografia, obtido pela fórmula:

$$\text{Distância}_{\text{inclinada}} = \sqrt{((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2)}$$

$$\text{Distância}_{\text{horizontal}} = \sqrt{((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2)}$$

Onde X, Y e Z são as coordenadas tridimensionais de dois pontos A e B.

A distância também pode ser obtida por triangulação (método já estudado na disciplina de Topografia I) quando não se dispõe de estação total ou quando a DN a ser medida é muito distante e mesmo utilizando o prisma da Estação, a distância não pode ser medida. Na triangulação clássica são requeridos apenas



um teodolito e material acessório como trena, balizas, etc. Para medir a DN entre A e P, por exemplo, pode ser procedido da seguinte forma:

- 1) Primeiro é materializado um ponto auxiliar B, próximo de A. Após é medida a distância horizontal entre A e B com precisão, preferencialmente duas vezes. A distância horizontal entre A e B é denominada **Base (DH_{AB})**.
- 2) Como o teodolito instalado em A, mede-se o ângulo horizontal interno formado entre PAB (**ângulo α**) da Figura 29. Estaciona-se o teodolito em B e obtém-se o ângulo horizontal interno entre ABP (**ângulo β**) da Figura 29.
- 3) Calcula-se o ângulo horizontal plano γ , sendo **$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$** .
- 4) Aplica-se a lei dos senos para o cálculo das distâncias horizontais:

$$DH_{AB} / \text{sen } \gamma = DH_{AP} / \text{sem } \beta = DH_{BP} / \text{sem } \alpha$$

Como são conhecidos α , γ , β e DH_{AB} , calcula-se por uma simples regra de três os valores de **DH_{AP}** e **DH_{BP}**.

Observações: o ideal é criar sempre um triângulo com todos os lados aproximadamente iguais para se ter uma elevada precisão, mas na prática se torna muito difícil encontrar no campo uma situação favorável para esta configuração. Então se cria uma base o maior possível e mede-se os ângulos com o máximo de precisão.

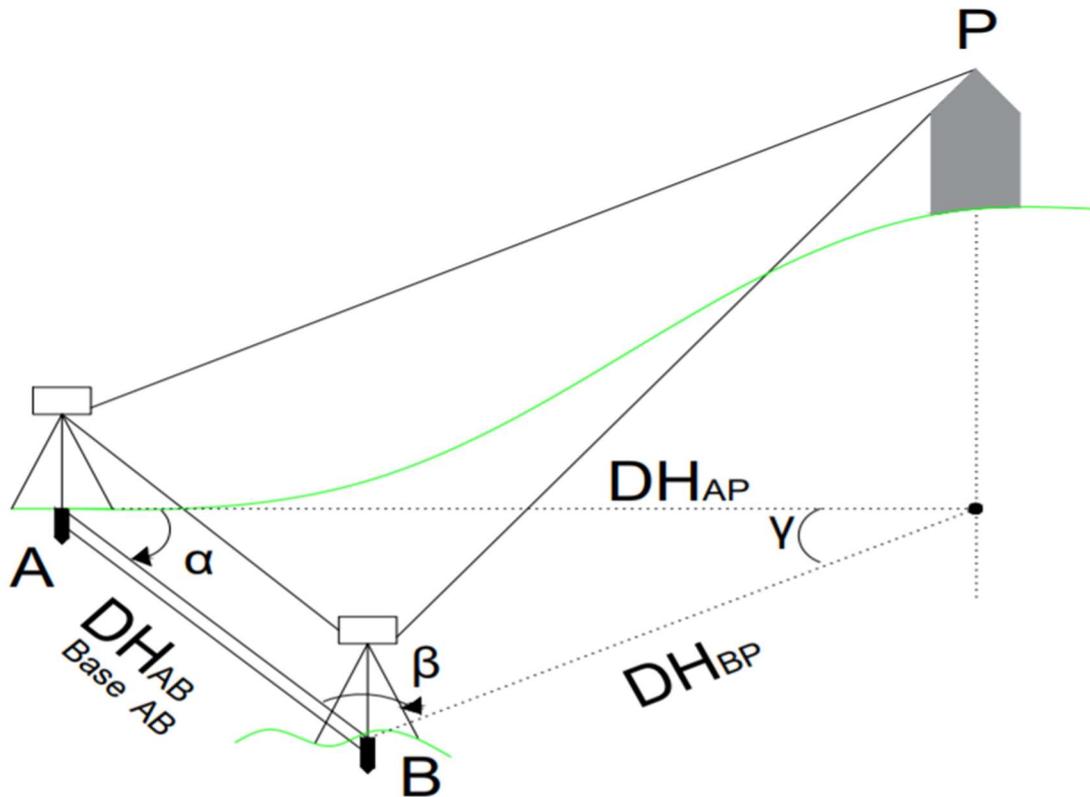


Figura 29: Medição de distância por triangulação

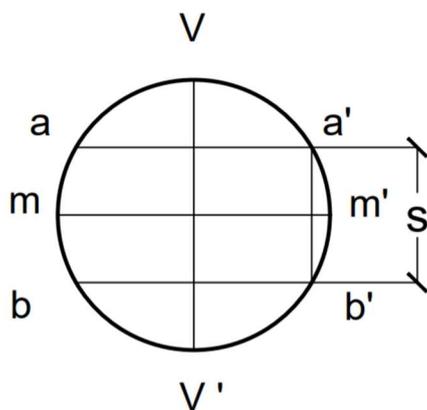
5.2 Taqueometria

O termo taqueometria tem sua origem nas palavras gregas **takhys** (rápido) e **metren** (medida). A taqueometria (taquimetria), de acordo com Espartel (1965) é a parte da topografia que se ocupa da medida indireta das distâncias e das DN através de um taqueômetro. De acordo com o autor, a medida indireta das distâncias e DN constituiu um problema que muito preocupou os topógrafos e geodestas do passado. Nesta época os levantamentos taqueométricos tinham a vantagem da rapidez, porque as medidas de distância de forma direta eram suprimidas.

Atualmente a taqueometria é um método que ficou obsoleto devido ao advento de instrumentos eletrônicos para medição de distâncias, como a Estação Total, por exemplo, e suas prática não é mais recomendada para utilização nas atividades de engenharia.

Os taqueômetros estadimétricos são teodolitos dotados de luneta que contêm os fios estadimétricos, que além de serem utilizados para a medição indireta das distâncias horizontais, também faz a medição dos ângulos horizontais e verticais (zenitais). O princípio geral da estadimetria é o de utilizar um instrumento composto de um tubo com três fios, denominado **estácia**, que além dos fios axiais $m-m'$ e $V-V'$ (Figura 30) já existentes nos equipamentos da época, contém mais dois fios extremos $a-a'$ e $b-b'$, que possibilitaram encontrar a distância que separa dois pontos, num dos quais está colocado o aparelho e noutra a estácia respectiva. Os taqueômetros são compostos por:

- **Fio colimador:** fio vertical de referência para a medida de ângulos horizontais ($V-V'$).
- **Fio médio (FM) ou nivelador:** fio horizontal de referência para a medida de ângulos verticais ($m-m'$).
- **Fio superior (FS) e inferior (FI):** são denominados fios estadimétricos, são equidistantes e opostos, paralelos ao fio médio ($a-a'$ e $b-b'$).
- **Ângulo diastimétrico (s):** ângulo com vértice no foco da objetiva e lados formados pelos raios que vão de FI à FS.



$m - m'$: fio nivelador;

$a - a'$ e $b - b'$: fios estadimétricos;

$V - V'$: fio colimador.

Figura 30: Esquema dos fios visualizados na luneta do taqueômetro

O esquema para a medição da altitude de um ponto **X** taqueometricamente é apresentado na Figura 31.

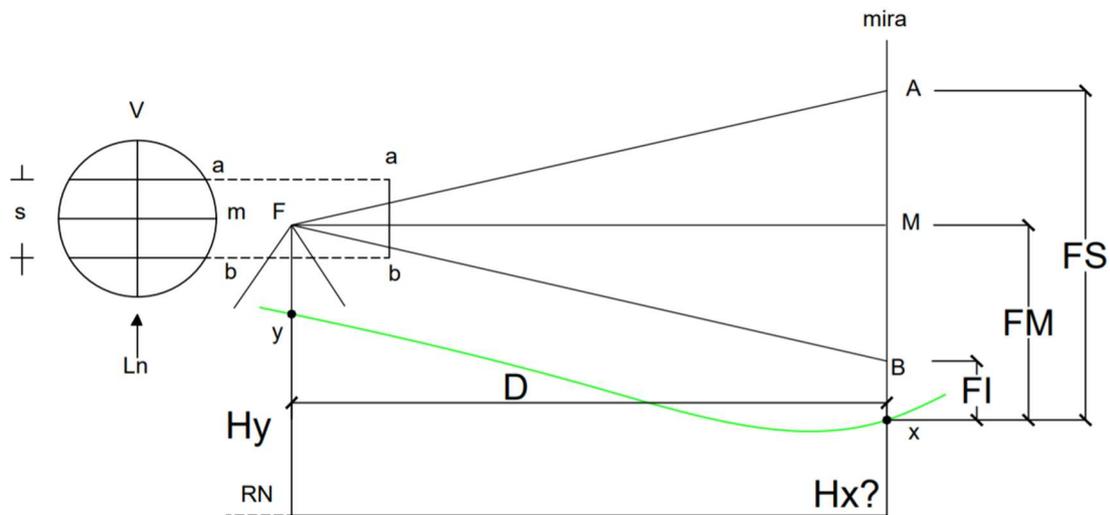


Figura 31: Esquema horizontal para definição dos cálculos na Taqueometria

Sendo:

Ln: luneta

F: foco da objetiva

d: distância entre os planos dos fios do retículo ao foco da objetiva (afastamento)

s: distância vertical (altura) entre os fios estadimétricos (ângulo diastimétrico)

D: distância entre o aparelho e a mira ou distância horizontal entre o ponto conhecido e o analisado

AB: número gerador 'S': diferença de leituras sobre a mira entre os fios superior (FS) e inferior (FI)

Y: ponto de altitude conhecida, onde deve-se instalar o aparelho

Hy: altitude conhecida

Hx: altitude a ser determinada

Por ser semelhança dos triângulos Fab e FAB, obtém-se:



$$\frac{D}{d} = \frac{AB}{ab}$$

Sendo $S (AB) = FS - FI$ e $ab = s$:

$$D = \frac{d}{s} \times S$$

Os valores **d** (distância focal) e **s** (altura entre fios estadimétricos) são fixos para cada aparelho e, portanto, a relação **d/s** é definida como **Constante Estadimétrica (C)**, que possui o valor **100** para os aparelhos atuais.

$$C = \frac{d}{s} = 100$$

Portanto, a equação básica para se determinar a distância horizontal entre o ponto de altitude conhecida e o ponto analisado é:

$$D = C \times S$$

Entretanto, no caso demonstrado da Figura 32, o aparelho encontra-se alinhado com o horizonte. Em um caso mais geral, quando a luneta estiver basculhada (inclinada), haverá um ângulo **α** formado entre **M** e a horizontal (Figura 32). E a distância **D** deverá ser calculada por:

$$D = C \times S \times \cos^2\alpha$$

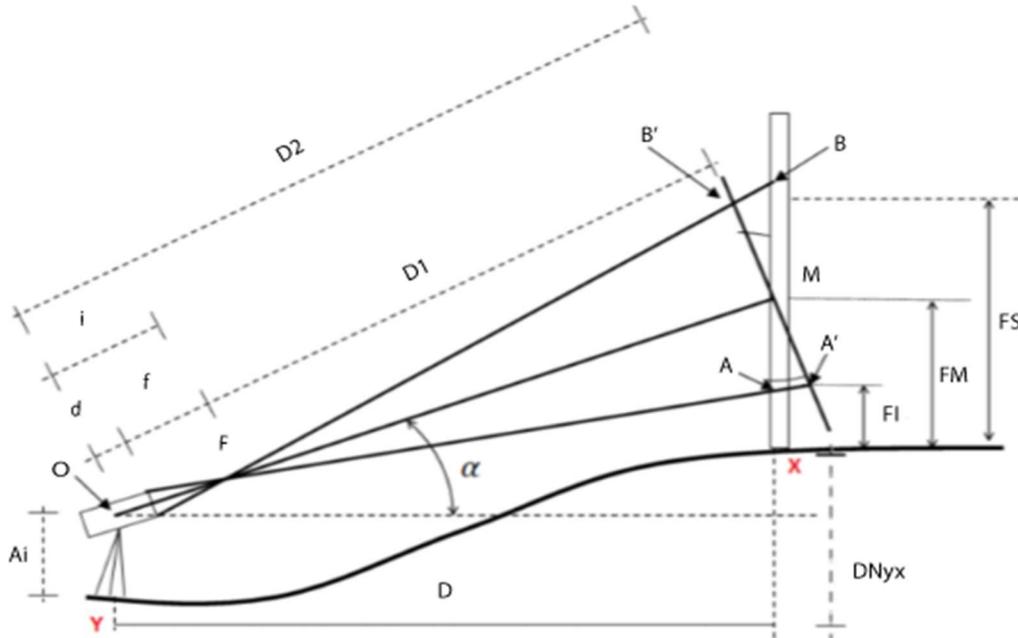


Figura 32: Esquema geral para definição dos cálculos na Taqueometria

Com a distância **D** calculada, encontra-se a altitude (ou cota) (**H**) do ponto **X** através de:

$$D_{Nyx} = (A_i - FM) \pm D \times \tan \alpha$$

Sendo, o sinal positivo quando a luneta estiver apontada para cima e negativo quando estiver apontada para baixo. Assim, tem-se que:

$$H_x = D_{Nyx} + H_y$$

5.2.1 Procedimentos para realizar levantamento taqueométrico

Existem ao menos duas formas de se iniciar um levantamento taqueométrico, uma delas onde a cota/altitude do ponto ocupado é conhecida, e outra em que esta cota será determinada utilizando uma RN. Nas duas, após a instalação do instrumento, coloca-se a mira no ponto a ser levantado, mantendo a mira na vertical e procede-se a leitura na mira dos fios estadiométricos superior (FS), médio (FM) e inferior (FI), faz-se a leitura do ângulo vertical (**Z**) e do ângulo horizontal.



Mede-se a altura do instrumento com uma trena. É necessário também determinar os azimutes de cada direção, conforme visto em Topografia I.

As cotas ou altitudes (H) dos pontos levantados serão calculadas pela fórmula do nivelamento trigonométrico:

$$DN = + / - H + \frac{DH}{\tan Z}$$

Lembrando que:

$$DN = H_x (\text{visado}) - H_y (\text{estação})$$

As coordenadas retangulares (E, N) dos pontos são obtidas por transformação das coordenadas polares obtidas nos levantamentos. Para isso ocorrer é necessário conhecer as distâncias horizontais e os ângulos horizontais (azimutes (Az)) entre a estação e os pontos visados.

$$Ex (\text{visado}) = Ey (\text{estação}) + DH * \text{sen } Az$$

$$Nx (\text{visado}) = Ny (\text{estação}) + DH * \text{cos } Az$$



6. REDES GEODÉSICAS

De acordo com o IBGE (2020) redes geodésicas são um conjunto de informações planimétricas, altimétricas e gravimétricas referentes às estações do SGB utilizadas para referência em atividades de posicionamento.

De forma resumida redes geodésicas são pontos de referência, definidos através da materialização e monumentação de pontos (coordenadas X, Y, Z) identificados inequivocamente para servir de base para levantamentos locais. Fazem parte da rede oficial do IBGE:

- **Rede Altimétrica:** conjunto de estações geodésicas, denominadas referências de nível (RRNN), que materializam a componente altimétrica do SGB a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão.
- **Rede Planialtimétrica:** conjunto de estações geodésicas denominadas estações SAT, estações *doppler*, estações poligonais e vértices de triangulação, que materializam as componentes planimétricas e planialtimétricas do SGB.
- **Rede Gravimétrica:** conjunto de estações geodésicas, denominadas estações gravimétricas, que contém informações sobre a aceleração da gravidade e as características das estações.
- **Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG):** conjunto de estações maregráficas, isto é, equipamentos para monitoramento das variações do nível do mar, instaladas e operadas pelo IBGE, com a finalidade de monitorar a relação entre o Datum Vertical Brasileiro (definido em Imbituba, em Santa Catarina, e Santana, no Amapá) e outros níveis de referência maregráficos, bem como subsidiar os estudos de modernização das altitudes brasileiras e de variação do nível do mar.
- **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC):** conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas.



Informações detalhadas sobre a localização e a monografia dos marcos das redes podem ser acessados no site do IBGE.

6.1 Referências de Nível

Para executar um nivelamento para implantação de projetos que exigem a modificação do relevo (construção de uma estrada ou obras em via urbana, por exemplo), é necessária a implantação de pontos de referência de nível (RN) amarrados à Rede Altimétrica.

No Brasil as altitudes ortométricas oficiais são determinadas a partir da Rede Altimétrica, estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na qual um conjunto de Referências de Nível (RRNN) materializadas no terreno, são caracterizadas por coordenadas planas, altitude ortométrica (muitas vezes também geométrica). Como nas demais redes, as coordenadas geodésicas e as altitudes normais-ortométricas das RRNN do SGB são periodicamente recalculadas, em função da incorporação de novas observações, correção de inconsistências, e utilização de novas técnicas de observação e cálculo.

Uma RN oficial precisa ser edificada por um órgão oficial brasileiro, como: o Exército Brasileiro, a Força Aérea Brasileira (FAB), o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e o Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA) e, obrigatoriamente, deve ser homologada pelo IBGE.

As RN são demarcadas por marcos de concreto, chapas ou pinos metálicos ou apenas marcas gravadas na área de trabalho, que devem ter estabilidade e durabilidade e estarem afastadas do local da obra (TULER E SARAIVA, 2014), além de ter visibilidade no seu entorno. Ver exemplo de chapa na Figuras 33 e de marco de concreto na Figura 34.

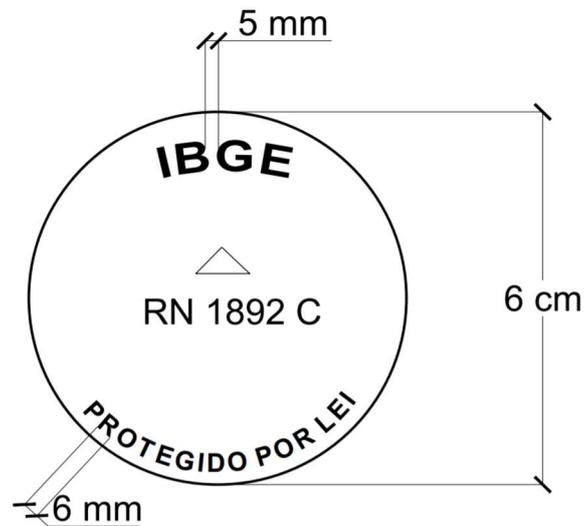


Figura 33: Exemplo de chapa metálica do RN 1892 C do IBGE

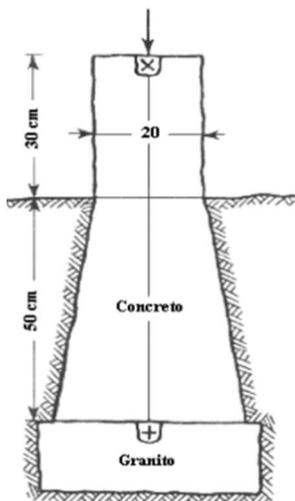


Figura 34: Exemplo de Marco de Concreto do Ponto Topográfico ECV69 UFSC.
Fonte: Zimmermann (2019).



7. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)

De acordo com Monico (2008) posicionar um objeto nada mais é do que lhe atribuir coordenadas. Por muito tempo sol, planetas e estrelas foram excelentes fontes de orientação, mas além da habilidade do navegador, as condições climáticas podiam fazer a diferença entre o sucesso e o fracasso de uma expedição (Dottori e Negraes, 1997). A bússola causou uma revolução na navegação, mas em alto mar ainda perduravam os problemas. Após surgiu o astrolábio que só permitia obter a latitude, além de ser pesado e grande e só permitir medições durante a noite quando havia boa visibilidade. Do astrolábio derivou-se o sextante. Durante o século XVIII o maior problema científico era a determinação da longitude (SOBEL, 1996). Problema resolvido com a invenção do cronômetro.

Com o advento da tecnologia (eletrônica) surgiram os primeiros equipamentos de localização marítima baseados em ondas de rádio, porém, devido à distância da costa, variações do relevo e a respectiva interferência eletrônica possuíam pouca acurácia. O primeiro sistema desenvolvido com satélites artificiais foi o *Navy Navigation Satellite System (NNSS)*, também conhecido como Transit, cujas medidas eram baseadas em efeito *doppler*. As órbitas do Transit eram baixas e os satélites eram poucos, assim não era possível obter posições com muita frequência. Mesmo assim, de acordo com Monico (2008) o sistema foi muito utilizado em posicionamento geodésico.

A solução definitiva para o problema surgiu na década de 1970, nos Estados Unidos, com a proposta do *NAVigation Satellite with Time and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS)*, sistema que revolucionou todas as atividades que dependiam da determinação de posições (MONICO, 2008). Em paralelo e de forma independente, na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), foi desenvolvido o *Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS)*, um sistema similar ao GPS. No final da década de 1990, a Agência Espacial Europeia propôs o desenvolvimento do Galileo. Atualmente o sistema



Compass Chinês também é uma realidade. Outros sistemas também foram e estão sendo desenvolvidos desde então.

De forma geral esses sistemas em conjunto têm sido denominados de GNSS e o termo foi utilizado pela primeira vez em 1991 pela Associação Internacional de Aviação Civil (ICAO) para designar os sistemas de posicionamento por satélites artificiais com cobertura mundial.

Atualmente é cada vez mais frequente o uso de equipamentos do tipo GNSS, quer seja através da marcação e identificação de pontos, trilhas, rotas, por particulares na terra, na água e até mesmo em veículos, aviões, navios, etc., quer seja no mapeamento de aspectos naturais ou artificiais nos âmbitos público e/ou privado.

Existe uma infinidade de equipamentos GNSS no mercado visando o atendimento destas necessidades, denominados de GNSS de navegação, topográficos, geodésicos, entre outros. Os GNSS revolucionaram as atividades de posicionamento terrestre, pois permitiram o aumento da precisão e facilitaram o uso e acesso aos usuários. Porém, até a presente data, apenas dois sistemas GNSS são considerados plenamente operacionais e com alcance global: GPS e o GLONASS.

Os GNSS de navegação são utilizados muito corriqueiramente em veículos e, atualmente, nos aplicativos de roteamento do tipo “waze” Os equipamentos topográficos ou geodésicos são utilizados para mapeamento, demarcação de divisas de propriedades, locação de pontos em obras de engenharia, monitoramento ambiental, controle e manutenção.

7.1 *Global Positioning System (GPS)*

O NAVSTAR-GPS ou apenas GPS, como é mais comumente conhecido é um sistema de rádio navegação desenvolvido em 1973 pelo DoD (Departamento de Defesa) americano, visando a ser o principal sistema de navegação das Forças Armadas norte-americanas.



Os satélites GPS, através de ondas eletromagnéticas, enviam sinais para os receptores existentes na Terra, sinais esses que demoram um determinado intervalo de tempo a percorrer a distância satélite-receptor. É baseado, portanto, no princípio de medições de distâncias (pseudodistâncias) entre o receptor e, pelo menos, quatro satélites. As coordenadas tridimensionais de um ponto são determinadas através das medições das distâncias em posições diferentes, em um determinado tempo.

O objetivo original do sistema era a determinação instantânea de posição, velocidade e tempo de um usuário, em qualquer lugar na Terra ou próximo a esta, independentemente das condições atmosféricas, em um referencial global e homogêneo, com base em medidas de distância. Essas distâncias são denominadas pseudodistâncias, em razão do não sincronismo entre o relógio do usuário e dos satélites, o qual comparece como uma incógnita adicional ao problema a ser resolvido. Logo, cada equação de distância (pseudodistância) apresenta-se com quatro incógnitas (três posições e o erro do relógio do receptor), requerendo que, no mínimo, quatro satélites estejam disponíveis para a realização de medidas simultâneas pelos receptores (MONICO, 2008).

De acordo com Monico (2008), para posicionamento de melhor qualidade, além das pseudodistâncias, faz-se também uso das medidas de fase de batimento da onda portadora, as quais permitem obter posições com alto nível de acurácia, embora haja algumas dificuldades adicionais, pois se trata de medidas ambíguas.

O sistema consiste desde 2007 de 30 satélites, distribuídos em 6 órbitas planas, com inclinação de 55° em relação ao Equador. Orbitam a 20.200 Km acima da Terra e completam um ciclo a cada 11 horas e 58 minutos. Ver Figuras 35 e 36. O GPS utiliza o como sistema geodésico o *World Geodetic System of 1984* (WGS 84), sistema de referência compatível com o SIRGAS 2000, que é o SGB vigente atualmente no Brasil.

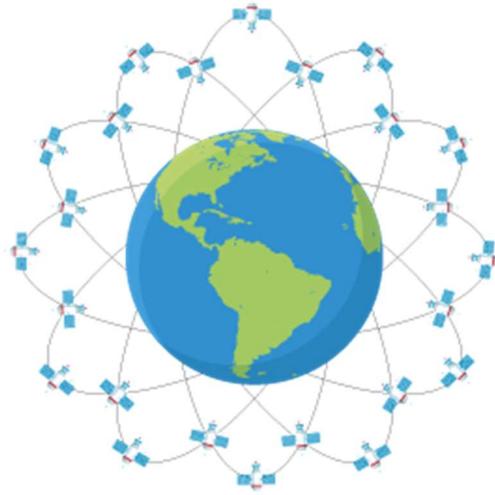


Figura 35: Constelação GPS.

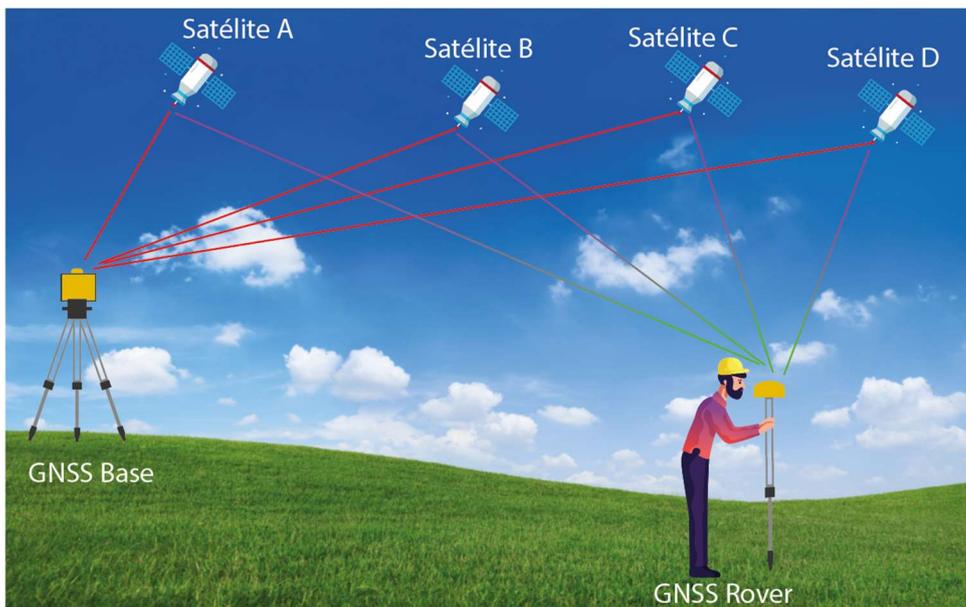


Figura 36: Esquema geral do GPS.

O GPS foi o primeiro a oferecer o serviço de posicionamento global, possui literatura consolidada e concepção confiável. Por estes motivos costuma servir de referência até mesmo para conceituar o sistema GNSS. Por este motivo toda a descrição em relação ao GPS, por analogia neste trabalho, pode ser adaptada ao GNSS.

O GPS consiste de três segmentos principais:



- **Espacial:** formado pelos satélites que orbitam a Terra e os respectivos sinais transmitidos.
- **Controle:** constituído pelo monitoramento, geração, correção, manutenção e avaliação do sistema.
- **Usuários:** conjunto de usuários civis e militares de todo o sistema, suas aplicações, métodos de posicionamento, formas de recepção e tipos de receptores.

As observáveis GPS fazem parte do segmento espacial e permitem determinar a posição, velocidade e tempo. São elas:

- **Pseudodistância a partir do código (C/A):** distância obtida pela multiplicação do tempo de propagação do sinal, resultante do processo de correlação pela velocidade da luz (tempo de percurso do sinal, desde o satélite até ao receptor);
- **Diferença de fase de batimento da onda portadora (λ):** diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante de recepção, as quais permitem obter posições com alta precisão, apesar das ambiguidades.

Cada satélite emite sinais de rádio de forma precisa, simultânea e ininterrupta. Os sinais são enviados em duas frequências que operam na banda L (L1 e L2). As duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo corrigir grande parte dos efeitos da ionosfera. Os satélites lançados a partir de 2010 possuem uma frequência adicional, a L5 (Grupo IIF). Conforme Monico (2008), as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) são:

- L1 = 1575,42 MHz e $\lambda \approx 19$ cm
- L2 = 1227,60 MHz e $\lambda \approx 24$ cm
- L5 = 1176,45 MHz e $\lambda \approx 25,5$ cm

Para usuários que necessitam de alta acurácia, é possível obter, via internet, as efemérides pós processadas (efemérides precisas). As coordenadas



do satélite podem ser calculadas para um determinado instante, que pode ser o instante da transmissão ou da recepção do sinal. No Brasil o órgão responsável por publicar as efemérides precisas é o IBGE, por isso quando se faz um levantamento relativo estático que se necessita de alta precisão, como é o caso de materialização de redes geodésicas, é necessário aguardar entre 7 e 14 dias para obter as coordenadas obtidas pelas efemérides precisas

O segmento de usuários está diretamente associado aos receptores GPS, aos quais devem ser apropriados para os propósitos a que se destinam. Os principais componentes de um receptor, conforme Monico (2008) são:

- Antena com pré-amplificador
- Seção de radiofrequência para identificação e processamento do sinal
- Microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados
- Oscilador
- Interface para o usuário, painel e exibição de comandos
- Provisão de energia (bateria)
- Memória para armazenar dados

Os receptores podem ser divididos segundo vários critérios. De acordo com a comunidade usuária podem ser classificados em receptor de uso militar e civil e, em relação a aplicação, podem ser classificados de diversas formas, como, por exemplo, em navegação, topográfico, geodésico. Porém, de acordo com Monico (2008), a classificação mais adequada para os usuários civis baseia-se no tipo de dados proporcionados pelo receptor, que podem ser somente pelo Código C/A (navegação); pelo Código C/A e portadora L1 (topográfico) e Código C/A e portadoras L1 e L2 (geodésico). Mais informações em Monico (2008).

Em geodésia, para aplicações envolvendo linhas bases médias e longas, ou em regiões com forte atividade ionosférica, caso típico do Brasil, é essencial utilizar receptores que proporcionem as portadoras (atualmente L1 e L2) e o acesso ao código nas portadoras (atualmente C/A, P e L2C) (MONICO, 2008).



Ao realizar um levantamento GPS deve-se ter o cuidado de verificar a configuração geométrica dos satélites, pois a partir delas são obtidas relações denominadas de diluição da precisão (DOP):

- **HDOP**: diluição horizontal da precisão;
- **VDOP**: diluição vertical da precisão;
- **PDOP**: diluição da precisão da posição (horizontal e vertical);
- **TDOP**: diluição da precisão de tempo
- **GDOP**: diluição da precisão 3D e tempo

O GDPO é dado pela seguinte expressão:

$$\mathbf{GDOP} = \sqrt{(\mathbf{PDOP})^2 + (\mathbf{TDOP})^2}$$

Valores padrão de DOP que deve ser verificado ao realizar um levantamento GPS:

- Valor de DOP < 1: geometria ideal
- DOP entre 1 e 2: geometria excelente
- DOP entre 2 e 5: geometria boa
- DOP entre 5 e 10: geometria moderada
- DOP entre 10 e 20: geometria fraca
- DOP > 20: geometria ruim

O GPS possui algumas limitações, pois não pode ser utilizado nas seguintes condições:

- Próximo a estações de transmissão de micro-ondas, linhas de transmissão de alta voltagem
- Próximo a radares, antenas de rádio, repetidoras de rádio
- Em áreas de coberturas vegetais densas
- Próximo a edificações devido ao efeito de multicaminhamento da onda (*multipath*). O multicaminhamento é a multi reflexão dos sinais em uma ou mais

superfícies antes de atingir a antena do receptor, é uma das maiores fontes de erro. Ver Figura 37.

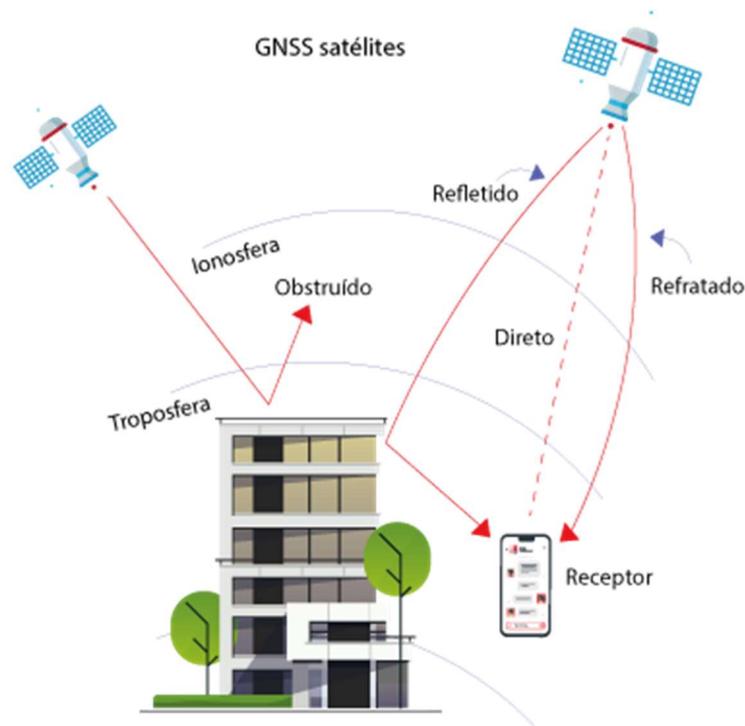


Figura 37: Efeitos do multicaminhamento da onda.

Para evitar o efeito de multicaminhamento é necessária a utilização da máscara de elevação, ou seja, abertura do horizonte no momento da tomada de dados em, pelo menos, 15° . Os usuários não devem se posicionar em fundos de vales, áreas urbanas próximas a edifícios, linhas de transmissão de alta voltagem, radares, antenas, florestas densas, etc. Quanto maior o período de observação, maior a probabilidade de redução desses efeitos. Naturalmente estamos nos referindo a posicionamentos estáticos.

Em contrapartida, as vantagens de um levantamento GPS são inúmeras:

- Redução do número de integrantes nas equipes
- Não exigência de qualificação específica para manuseio
- Armazenamento eletrônico, o que reduz a possibilidade de erros grosseiros
- Rapidez na implantação de pontos de apoio
- Não necessidade de intervisibilidade entre estações



- Utilização sob qualquer condição climática, inclusive a noite e em dias chuvosos
- Possibilidade de levantamentos simultâneos

As aplicações GPS são divididas convencionalmente em terrestres, marítimas e aeroespaciais. Mais especificamente podem ser divididas em:

- Localização de frotas
- Mapeamentos topográficos em geral
- Aplicações industriais e de guerra
- Aviação, navegação
- Monitoramento de abalos sísmicos
- Meteorologia
- Lazer: pescaria, trilhas, caminhadas
- Orientação e localização de trajetos e rotas
- Roteiro de viagens
- Localização para Resgate
- Construção civil e locação de obras
- Projetos viários
- Batimetria

7.1.1 Métodos de posicionamento GPS

De acordo com Monico (2008) posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode então ser classificado em posicionamento **absoluto**, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, utilizando apenas um receptor GNSS num ponto desconhecido (GPS de navegação), e **relativo**, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas (GPS geodésico), como foi exposto na Figura 35. Tanto no absoluto quanto no relativo o objeto posicionado pode estar em repouso (estático) ou em movimento (cinemático), o que gera um complemento a classificação.



No posicionamento **absoluto** podemos citar:

- **Posicionamento por ponto simples:** método simples empregado em navegação de baixa precisão e em levantamentos expeditos porque considera somente os erros dos relógios envolvidos. Utiliza a pseudodistância em uma única portadora e as efemérides transmitidas.
- **Posicionamento por ponto preciso:** método empregado em aplicações que exigem acurácia. Utiliza a pseudodistância ou fase da onda portadora, ou ambas, coletadas por receptores de simples ou dupla frequência, com efemérides precisas. Considera, além dos erros dos relógios, as efemérides disponibilizadas de forma independente.

Para realizar o **posicionamento relativo**, conforme Monico (2008), o usuário deve dispor de dois ou mais receptores. No caso do Brasil tem-se a RBMC (já descrita no capítulo 6) além de outras estações contínuas. O posicionamento utiliza para cálculo de coordenadas as observáveis pseudodistâncias e fase da onda portadora L1 e/ou L2. Existem várias formas de realizar o posicionamento. Em relação à antena (receptor), que pode estar em repouso ou em movimento podem ser classificados em:

- **Estático:** quando o receptor permanece estacionado entre 20 minutos e algumas horas;
- **Estático Rápido:** ocupações de até 20, onde um receptor permanece estático e ligado o tempo todo;
- **Pseudoestático ou *Stop and go*:** o equipamento permanece ligado até a resolução das ambiguidades, o tempo é variável;
- **Semicinemático:** são realizadas duas coletas no mesmo ponto com intervalos de 20 a 30 min, para ocorrer a mudança da geometria dos satélites;
- **Cinemático:** os dados são coletados em movimento e podem ser processados após a coleta (pós processados), ou durante a mesma (tempo real), ou através de RTK em rede.



O **GPS diferencial (DGPS)** era uma técnica de posicionamento relativa utilizada para reduzir os efeitos da disponibilidade seletiva imposta ao GPS (na ordem de 100 m) nas coordenadas transmitidas no modo absoluto nos levantamentos realizados até os anos 2000. Com o desligamento da disponibilidade seletiva, no modo absoluto, o GPS fornece precisão na ordem de 10 m atualmente.

O **Real Time Kinematic (RTK)** ou **posicionamento cinemático em tempo real**, alia a tecnologia de navegação por satélite a um rádio modem a fim de obter medidas com correções instantâneas da fase da onda portadora e da pseudodistância coletadas na estação base e correções de medidas, que são enviadas para a estação móvel via link de comunicação. Esta técnica exige a disponibilidade de, pelo menos, uma estação de referência com as coordenadas conhecidas, dotada de um receptor GPS e um rádio modem transmissor. A estação gera e transmite as correções diferenciais para as estações móveis, que usam os dados para determinar precisamente suas coordenadas. A capacidade de realização dos levantamentos e as precisões disponibilizadas dependem da densidade da rede de estações de referência.

No quadro 11 podem ser observados os métodos, o tipo de posicionamento coordenadas disponibilizadas, a recepção do sinal e a precisão dos levantamentos GNSS.

Quadro 11: Métodos e precisões dos levantamentos GPS.

Método	Coordenadas	Posicionamento	Recepção	Precisão	
Absoluto	Tempo real	Navegação	Código C/A	Baixa	100 m a 10 m
	Pós processado			Média	10 m a 1 m
Relativo	Pós processado	Estático Estático Rápido Cinemático	L1 + Código C/A	Alta	2 a 15 cm
		Estático Estático Rápido Cinemático	L1/L2 + Código C/A e P	Altíssima	0,1 a 1 cm + 1ppm
	Tempo real	Cinemático	L1/L2 + sinal melhorado	Alta/Altíssima	2 a 5 cm + 2ppm

Fonte: Adaptado de Monico (2008) e IBGE (2020).



A duração ótima da sessão de observação depende de vários fatores, tais como: precisão requerida; geometria dos satélites; atividade ionosférica; tipo de receptor utilizado; comprimento das linhas de base; probabilidade de ocorrência de multicaminhamento; entre outros. O IBGE recomenda valores mínimos para proporcionar a observação de dados suficientes para a solução das ambiguidades nos métodos relativos de posicionamento. Ver Quadro 12.

Quadro 12: Linha base e tempo para posicionamento GPS.

Linha base (km)	Tempo observado (minutos)	Equipamento	Precisão
0 – 5	5 – 10	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm +1 ppm
5 – 10	10 – 15	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm +1 ppm
10 – 20	15 – 30	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm +1 ppm
20 – 50	120 – 180	L1/L2	5 mm +1 ppm
50 – 100	Mínimo 180	L1/L2	5 mm +1 ppm
> 100	Mínimo 240	L1/L2	5 mm +1 ppm

Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

7.2 Nivelamento GNSS

O conhecimento do campo gravitacional da Terra é importante na Geodésia, e tem diversas aplicações. Uma delas é a aplicação na determinação do desnível, relativamente a um ponto, entre um modelo geométrico da Terra (elipsoide de revolução) e uma superfície equipotencial particular do campo gravitacional da Terra (Geoide). Esse desnível é conhecido como ondulação geoidal, e seu conhecimento permite a determinação da altitude ortométrica, demandada nas obras de engenharia em geral, em função da altitude geométrica, determinada por um receptor GNSS.

Cada vez mais se aplica o sistema GPS para determinar a altitude ortométrica (H), evitando assim a onerosa operação de transportes de altitudes por meio do nivelamento geométrico ou trigonométrico. Tais metodologias e precisões estabelecidas já podem ser observadas em publicações como as Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos e a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, publicados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (TULER E SARAIVA, 2016).

De acordo com Monico (2008) o GNSS, mais especificamente o GPS, está sendo usado para as mais variadas atividades de posicionamento. No entanto, as atividades relacionadas ao nivelamento de precisão ainda necessitam de solução,



pois o GNSS proporciona altitudes de natureza puramente geométrica, ao passo que na maioria das atividades práticas o que interessa são as atividades vinculadas ao campo de gravidade da Terra, ou seja, as altitudes ortométricas, as quais possuem ligação com a realidade física.

Existe no mercado uma tendência em adotar o rastreamento pelo GPS como uma das técnicas geodésicas de obtenção das altitudes ortométricas, pela facilidade de manuseio e pelo tempo gasto na operação de campo, inclusive para pontos inacessíveis, ou mesmo, distantes, da rede altimétrica do IBGE (TULER E SARAIVA, 2016).

De acordo com Tuler e Saraiva (2016), porém, o IBGE, como no caso do nivelamento trigonométrico, também não recomenda as técnicas por GPS para o transporte de altitudes ortométricas. Por outro lado, vários autores (ARANA, 2000; CASTRO, 2002; CORSEUIL E ROBAINA, 2003; IBGE, 2008; MONICO, 2000 E SANTOS, 2009) citam experiências de campo e resultados para esse transporte de altitudes, seguindo certos limites de precisão, considerando processos de levantamentos, tipos de equipamentos utilizados e procedimentos de ajustamento de dados.

No âmbito da engenharia, a realidade física se materializa com um fio de prumo, através do nivelamento dos equipamentos. Para determinar altitudes ortométricas, a partir das geométricas, determinadas com o GNSS, é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal, além de considerar as três superfícies já citadas no item 2.1 deste material, ou seja, a superfície física da Terra, o elipsoide de revolução e o geóide.

Devido à forma irregular da Terra, um elipsoide de referência é utilizado como forma matemática para representá-la, onde alguns conceitos também devem ser lembrados como a Normal de um ponto (n), a Vertical de um ponto (V), a Altitude geométrica (h) e a Altitude ortométrica (H). Todos já apresentados no item 2.1.

O problema de se utilizar uma superfície matemática para determinar pontos horizontais ou planos e outra física para determinar pontos verticais



apresenta a dicotomia dos Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) de ter que materializar os pontos por diferentes métodos:

- **Materialização de pontos horizontais:** realizada através de métodos da geodésia geométrica ou celeste com referência em redes geodésicas planimétricas/planialtimétricas com origem no *datum* geocêntrico (elipsoide *Geodetic Reference System of 1980* (GRS80), compatível com SIRGAS2000. Conceitos já vistos na disciplina de Topografia I.
- **Materialização de pontos verticais:** realizada através de nivelamento geométrico de precisão com referência em redes altimétricas com origem no NMM, ou seja, *datum* vertical (Marégrafo de Imbituba).

Para determinar sem ambiguidade a posição de um determinado ponto da superfície terrestre é necessária também a altitude ortométrica, porém o GNSS fornece apenas as coordenadas geodésicas referenciadas ao elipsoide e, conseqüentemente a altitude geométrica (h), e não a altitude ortométrica (H) referenciada ao NMM. Para resolver esse problema é necessário realizar a conversão/transformação de altitudes através da ondulação geoidal.

Diversos modelos gravitacionais da Terra foram desenvolvidos nos últimos anos para conhecer a diferença entre as superfícies geoidal e elipsoidal. Essa diferença é a altura ou ondulação geoidal (N), que é representada por modelos denominados de ondulação geoidal. O desenvolvimento e aprimoramento desses modelos são necessários para aplicações nas áreas de mapeamento e engenharia.

Um sistema desenvolvido pelo IBGE em 1983, o MAPGEO, em sua versão 2015, possibilita aos usuários obter a ondulação geoidal (N) em um ponto (ou conjunto de pontos) de forma rápida e simples. Tal informação permite a conversão de altitudes elipsoidais (geométricas) (h) em ortométricas (H).

Existem inúmeros modelos geoidais de aplicação global e local. Para os casos brasileiros os modelos geoidais são adequados para uma série de aplicações, onde o nível de precisão requerido é proporcionado pelo próprio



modelo geoidal. Nesses casos a precisão dos modelos atendem as prescrições de nivelamento de baixa e média precisão. No entanto, a determinação da altitude ortométrica via GNSS, capaz de substituir o nivelamento geométrico de alta precisão, ainda é objetivo de longa duração.

7.2.1 Método relativo para determinação de altitudes ortométricas

De acordo com Silva e Segantine (2015), dá-se o nome de nivelamento com a tecnologia GNSS ao nivelamento realizado com uso de antenas receptoras que captam sinais emitidos por satélites artificiais. Neste caso, os valores das alturas dos pontos considerados são obtidos a partir de um levantamento com a tecnologia GNSS em modo relativo (pós-processado ou RTK). Em condições favoráveis, de acordo com os autores, é possível alcançar precisões centimétrica e até milimétricas com uso desta tecnologia. Normalmente se considera que a precisão altimétrica é da ordem de 1,5 a 2,0 vezes a precisão planimétrica.

Conforme Tuler e Saraiva (2016) o GPS possibilita a medição de coordenadas tridimensionais (X, Y, Z) de um ponto e o cálculo das coordenadas geodésicas – latitude (ϕ) e longitude (λ) e altitude geométrica (h) – segundo um *datum* de referência (SIRGAS para o Brasil). A altitude geométrica (h) pode ser relacionada com a ortométrica (H) a partir do conhecimento da ondulação geoidal (N) (ver item 2.1). Desde que o posicionamento GNSS seja realizado através do método relativo estático com, pelo menos, 30 min de ocupação em cada ponto onde se deseja conhecer H.

Um nivelamento deste tipo é extremamente rápido se comparado aos demais, principalmente quando realizado no modo diferencial RTK. Ocorre, porém, que a sua precisão pode se degradar facilmente se o engenheiro não considerar alguns aspectos importantes ao se aplicar a tecnologia GNSS. ...a precisão se degrada em função de três parâmetros:

- A geometria dos satélites, que é variável ao longo do tempo de observação e que, conseqüentemente, influencia na precisão espacial dos pontos medidos;
- Os efeitos da troposfera a ionosfera, que variam com a latitude do local e com a época do ano e que, por este motivo, são difíceis de serem modeladas corretamente causando a perda de precisão no cálculo da altura geométrica;
- A altura geoidal, que precisa ser considerada para corrigir os valores das alturas elipsoidais medidas com as antenas



receptoras GNSS...- altura, altitude, ondulação geoidal e desvio da vertical (SILVA E SEGANTINE, 2015).

De acordo com Silva e Segantine (2015), os dois primeiros parâmetros independem da intervenção do operador. Mas para o problema da altura geoidal existem três soluções que podem ser utilizadas para realizar o nivelamento GNSS:

- Utilizar um software que contenha um modelo geoidal, como o MAPGEO;
- Medir a altura geoidal da região através de gravimetria;
- Caso se conheça o valor da altitude do ponto onde será instalado o receptor GNSS (base), esse valor pode ser indicado como se fosse a altura geométrica (h). Os demais pontos medidos com o receptor ROVER terão então as suas alturas relacionadas ao valor da altitude indicada para a base. Este procedimento não causa grande erros em regiões onde a variação da ondulação geoidal é pequena, porém, deve-se tomar cuidado para não o aplicar indiscriminadamente.

Tuler e Saraiva (2016) dividem o nivelamento GNSS em duas categorias, mas destacam que essa operação para a determinação de desníveis se restringe a áreas pequenas e isoladas, ficando a precisão do trabalho sujeita às qualidades do rastreamento GPS (tempo, tipo de receptor, etc.) e a homogeneidade do geóide local.

A primeira é indicada para ser utilizada em pequenas distâncias (1 a 3 km), onde considera-se que a variação da ondulação geoidal (N) seja pequena, de forma que algumas práticas de nivelamento GNSS para topografia e geodésia possam ser executadas desprezando ou não os valores de ondulação geoidal, e adotando-se somente a altitude geométrica (h) para determinar desníveis. O que interessa nesta prática é somente o desnível entre pontos e não a altitude ortométrica (H).

Uma segunda solução, análoga a terceira opção proposta por Silva e Segantine (2015), pode ser a interpolação de altitudes ortométricas para pontos através do posicionamento GNSS em estações com coordenadas e RRNN conhecidas. Nesse caso, a altitude geométrica “ h ” pode ser relacionada com a ortométrica “ H ” a partir do conhecimento da ondulação geoidal (N), ou seja:



$$H \sim h - N$$

A ondulação geoidal pode ser estimada em campo, conhecendo “h” e “H” de um ponto ou a partir de modelos geoidais na forma digital, ou seja:

$$N \sim h - H$$

O rastreamento GNSS sobre uma RN do SGB conforme alguns autores como: ARANA, 2000; CASTRO, 2002; COSEUIL E ROBAINA, 2003; IBGE, 2008; MONICO, 2000 E SANTOS, 2009; possibilita a utilização de modelos geoidais locais de forma relativa. Ver Figura 38. O método se efetiva através roteiro proposto por Tuler e Saraiva (2016):

- 1) Ocupar com GNSS as estações com RRNN conhecidas (BASE) (se não for possível devido à falta de visibilidade dos satélites, deve ser realizado o transporte de coordenadas, via nivelamento geométrico, de forma a garantir a qualidade da altitude (**H**) do vértice original);
- 2) Obter a ondulação geoidal de campo (**N_{CALCULADA}**) da base através da seguinte fórmula:

$$N_{\text{CALCULADA}} = h_{\text{GNSS}} - H_{\text{RN}}$$

- 3) Considerar a ondulação geoidal do modelo geoidal do IBGE obtida pelo MAPGEO2015 na base como **N_{MAPGEO}**. Ver detalhes em (https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm) ;
- 4) Calcular a diferença entre as alturas geoidais obtidas na base (**ΔN**):

$$\Delta N = N_{\text{CALCULADA}} - N_{\text{MAPGEO}}$$

- 5) Aplicar a diferença (**ΔN**) nos pontos ROVER rastreados via GNSS próximos a essa RN (até o raio de alguns quilômetros), ou seja, o receptor GNSS mediria (**h**) em outro ponto qualquer (ROVER), buscaria o valor da ondulação geoidal pelo MAPGEO e aplicaria a correção desse modelo, calculando, assim, a altitude ortométrica (**H**) desse ponto:

$$H_{\text{ROVER}} \sim h_{\text{ROVER}} - H_{\text{MAPGEO}} - \Delta N$$

Essa técnica é denominada pelos autores ARANA, 2000; CASTRO, 2002; COSEUIL E ROBAINA, 2003; IBGE, 2008; MONICO, 2000 e SANTOS, 2009 como método relativo para determinação de altitudes ortométricas.

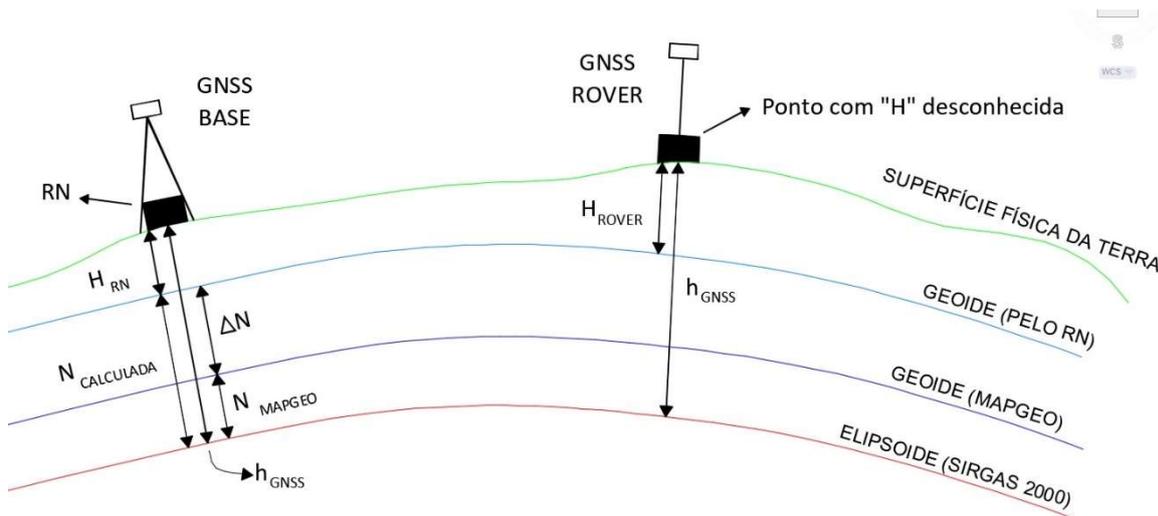


Figura 38: Nivelamento GNSS pelo método relativo.

Resumidamente:

- O GNSS fornece a altitude geométrica (h_{ROVER}) de um ponto de altitude ortométrica desconhecida (H_{ROVER});
- Busca-se o valor da ondulação geoidal do MAPGEO2015 (N_{MAPGEO}) para obter a altitude ortométrica (H_{MAPGEO}) do ponto ROVER;
- Aplica-se a “correção” (ΔN) já calculada do ponto base, obtendo-se, assim, a altitude ortométrica do ponto.

Essa proposta minimiza os erros do modelo geoidal do IBGE (da ordem de decímetros para centímetros) e está restrita a vários fatores, como: tipo de receptor utilizado, distância do ponto medido à base, tempo de rastreamento, etc.

Conforme Tuler e Saraiva (2016) para uma determinada região, cidade, indústria (mineradoras) ou grandes obras de engenharia (barragens, estradas, minerodutos, etc.), obter a ondulação geoidal não de apenas um ponto, mas de vários, possibilita a construção de um modelo geoidal local, através da geração de



um mapa de isolinhas das ondulações geoidais, ou de polinômios que forneçam a ondulação geoidal de qualquer ponto local, viabilizando a transformação de altitudes geométricas medidas com o GNSS em altitudes ortométricas.



8. LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

De acordo com Corrêa (2012), os levantamentos hidrográficos são levantamentos topográficos efetuados para a obtenção da posição de pontos em leitos de água tais como rios, lagos, lagoas e ambientes oceânicos. Os objetivos principais são o conhecimento da morfologia de fundo destes ambientes para a construção de cartas náuticas bem como para a planificação e controle de projetos como pontes, túneis, barragens, portos e outros trabalhos relacionados à engenharia. Consiste, também, na determinação da variação do nível d'água em um reservatório ou curso d'água.

A partir desse levantamento, visa-se a obtenção da planta topográfica da região, a qual possibilitará o estudo do potencial hidráulico, das bacias de acumulação e do controle de cheias. Essa planta também é necessária para a locação e o nivelamento de canais de irrigação e para a locação e controle na construção de barragens.

Os levantamentos hidrográficos são constituídos por dois levantamentos distintos, mas complementares, ou seja, a hidrometria e a batimetria.

8.1 Hidrometria

A hidrometria consiste na medição da profundidade da água ou espessura da lâmina d'água através de sondas em diferentes pontos. Se o nível da superfície da água for variável, a profundidade medida deverá ser corrigida desta variação e todos os pontos levantados deverão ser relacionados a uma origem comum.

O controle topográfico horizontal pode ser estabelecido na margem do curso d'água, a partir do qual se iniciará o levantamento topográfico com a demarcação dos pontos onde se efetuará a sondagem. No levantamento dos dados devemos registrar as informações correspondentes às marés e às variações de nível para obtenção da altura da água cada vez que se efetuar uma sondagem (CORRÊA, 2012).

As medidas podem ser efetuadas a partir de réguas linimétricas ou linígrafos, devidamente referenciados a uma cota conhecida e materializada no

terreno. Nas medidas de vazão são utilizados cabos aéreos, pontes ou barcos hidrométricos. Ver Figura 39.

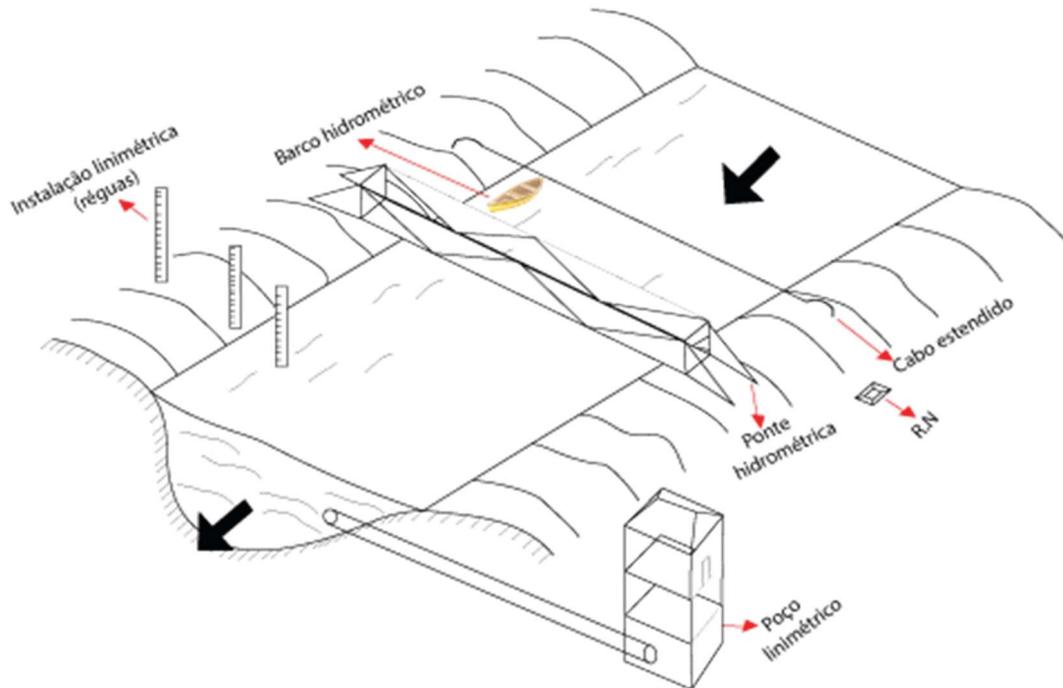


Figura 39: Locais de instalação de uma estação hidrométrica.

Os linígrafos consistem em registradores automáticos do nível d'água na seção hidrométrica. Os linígrafos de boia flutuam na superfície d'água e acompanham a variação de nível, as quais são transmitidas através de um cabo a uma polia que registra sobre papel mantido sobre um tambor rotativo (atualmente em meio digital), o registro da variação do nível d'água em função do tempo.

As régua linimétricas são escalas graduadas em centímetros, que são colocadas em uma seção apropriada do curso d'água em um ou vários lances, referenciadas a uma referência de nível conhecida, para que se possa estabelecer a altitude zero das régua. De acordo com Brasil (2011), as régua devem ser instaladas em alinhamento perpendicular ao eixo do rio. A Figura 40 mostra um exemplo de seções de régua instaladas segundo os padrões da Agencia Nacional das Águas (ANA). No caso das estações linimétricas localizadas em



barragens, a preferência é para que as réguas sejam construídas ou fixadas diretamente na estrutura da barragem.



Figura 40: Exemplo de seções de réguas instaladas segundo os padrões da ANA.

Fonte: Brasil (2011).

8.2 Batimetria

De acordo com Gagg (2016) a batimetria trata do conjunto dos princípios, métodos e convenções usados para determinar a medida do contorno, da dimensão relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais. Os levantamentos batimétricos têm por objetivo efetuar medições de profundidades que estejam associadas a uma posição da embarcação na superfície da água, as quais são necessárias em áreas marítimas, fluviais, canais, lagoas, etc., buscando representar estas áreas em uma carta, e desta forma conhecer o comportamento da morfologia de fundo de um rio, reservatório, canal ou de um oceano. Compreende assim uma abordagem planimétrica (X, Y) que



fornece a posição da embarcação onde está a estação, e a obtenção das profundidades. As coordenadas (X, Y) são frequentemente obtidas por GNSS, irradiação, interseção à vante (conforme a situação), e as profundidades por sondagem.

Em grego, “*bathus*” significa profundo e “*metron*” medida.

Resumidamente batimetria é a ciência que determina, gera e interpreta as profundidades dos oceanos, ou seja, é o conjunto das formas de representação do relevo submerso, realizado em reservatórios, rios, mares, lagos e lagoas.

De acordo com Corrêa (2012), a batimetria tem por finalidade conhecer o comportamento da morfologia de fundo de um reservatório, de um rio ou mesmo de um oceano. Objetiva determinar o comportamento da morfologia do relevo hidrográfico desses ambientes para representá-los cartograficamente.

O levantamento batimétrico consiste, basicamente, na obtenção de um conjunto de pontos distribuídos, de forma homogênea, por toda a área do reservatório, do fundo oceânico ou da seção do rio referente ao projeto em estudo, de maneira que toda a área estudada seja coberta. Cada ponto obtido deverá apresentar três coordenadas, sendo as duas primeiras referentes a localização do ponto em relação a coordenadas geográficas e a terceira referente a profundidade naquele ponto (CORRÊA, 2012).

Os pontos podem ser posicionados (planialtimetricamente) através de vários métodos. Cada ponto obtido deverá apresentar três coordenadas (X, Y, Z) referenciadas ao SGB. A superfície a ser mapeadas deve ser dividida em uma malha de linhas equidistantes a fim de servir de diretriz para o levantamento.

Algumas aplicações da batimetria são:

- Construção de obras de defesa contra o avanço do mar: molhes ou quebra-mar;
- Locação de rochedos submersos (corais, parcéis, bancos de areia, etc.);
- Linhas (rotas) de navegação em rios, lagoas e mares;
- Colocação de boias de sinalização;
- Cálculo de volume submerso (aterro hidráulico);



- Cálculo de vazão de um rio;
- Irrigação e sistema de drenagem do solo;
- Projeto de lançamento de esgotos;
- Projeto de marinas;
- Projetos de tanques naturais de armazenamento de água/barragens;
- Medição da quantidade/fluxo de água (vazão), com relação aos sistemas de forças (Hidrelétrica);
- Controle de enchentes: medição e controle das alterações modulares, assoreamentos e erosões.

8.1 Equipamentos e métodos para batimetria

Nos levantamentos batimétricos de pequena profundidade, pode ser utilizada vara de sondagem, que é uma haste de madeira de ± 5 m de comprimento, graduada em centímetros e com seus extremos recobertos por uma lâmina metálica, a qual servirá de proteção.

Também podem ser utilizados guinchos hidrométricos que são compostos por cordas ou correntes e um lastro de 3 a 5 kg preso na extremidade inferior. Na utilização deste tipo de equipamento para sondagem, deve-se ter cuidado em áreas que apresentem correntes no fluído aquoso, o que poderá ocasionar um desvio da vertical da sonda, acusando uma profundidade maior que a real.

De acordo com Corrêa (2012), equipamentos mais sofisticados, como os ecobatímetros, podem ser utilizados em qualquer profundidade. Estes equipamentos realizam um registro contínuo e preciso da profundidade. Fundamentalmente, estes equipamentos são instalados no casco de uma embarcação e emitem uma onda de frequência preestabelecida e registra o intervalo de tempo desde o instante em que se produziu a onda original até o momento em que se capta o retorno do eco desta onda, vindo da superfície de fundo. Estes equipamentos estão ajustados para obterem a profundidade de acordo com a velocidade do som em relação às características da água em que

está sendo utilizado, como, por exemplo, a densidade e a salinidade. Ver Figura 41.

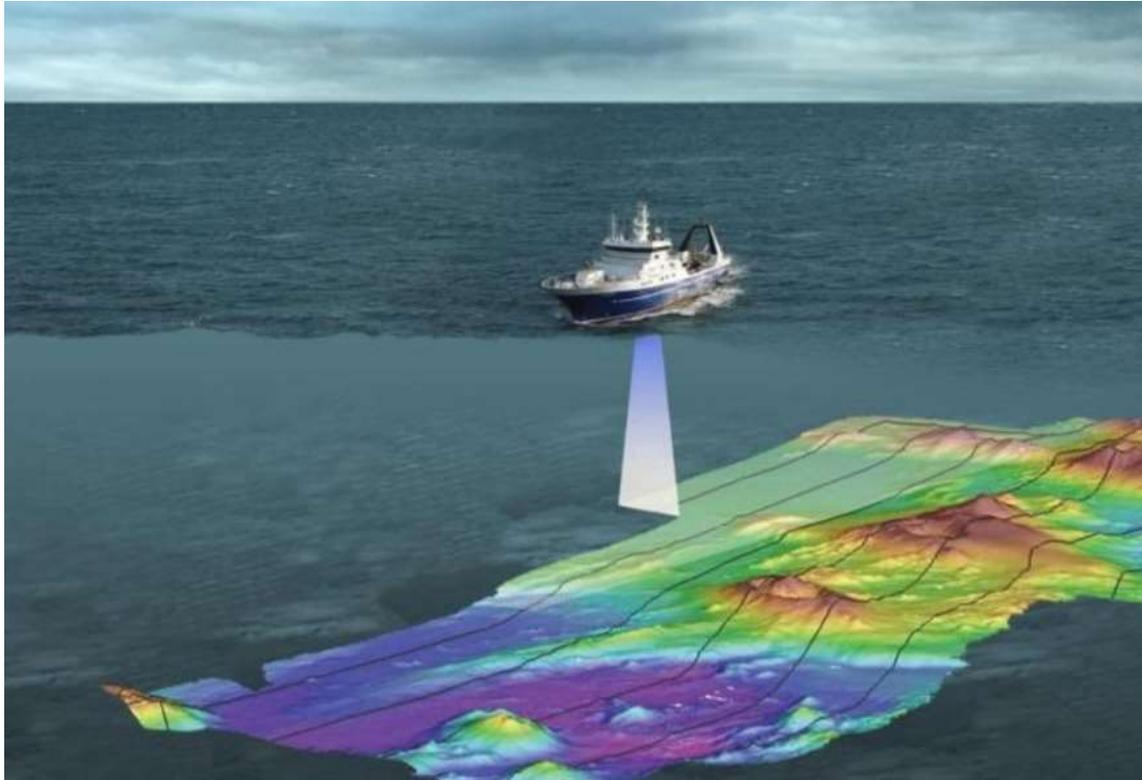


Figura 41: Levantamento batimétrico.
Fonte: SUBSEAWORDNEWS (2020).

Conforme Gagg (2016), o avanço da física e da eletrônica propiciou o surgimento de novas técnicas, entre elas o *Sound Navigation and Ranging* (SONAR), que permite a medição de distâncias sob a água. Já no caso dos levantamentos batimétricos modernos, os mesmos recorrem ao uso de ecobatímetros monofeixe, ecobatímetros multifeixe (Figura 41), varreduras aéreas por *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER), imagens de sensoriamento remoto, sendo que as duas últimas apresentam mais restrições quando há sedimentos na água. O uso dos ecobatímetros é a principal fonte de dados. Entretanto pode-se recorrer também ao *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP).

O ADCP é um equipamento acústico de medição de vazão que utiliza o efeito *Doppler* (mudança observada na frequência de uma onda qualquer resultante do movimento relativo entre a fonte e o observador) transmitindo pulsos sonoros de frequência fixa, e que alguns o



empregam para a realização de levantamentos batimétricos por permitir a medição da água em diferentes verticais (GAGG, 2016).

9. RECALQUE

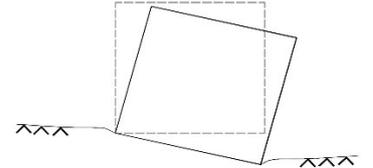
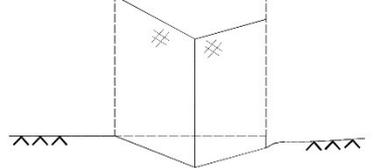
Recalque de Fundações é uma manifestação patológica caracterizada por um deslocamento da edificação ou parte dela, na direção vertical e sentido de cima para baixo.

Todas as estruturas sofrem deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotacionais, isto é, movimentos que traduzem a deformação da estrutura carregada e a acomodação do solo face aos novos carregamentos a que está submetido (ALVES, 2006), entretanto esses passam despercebidos na maior parte do tempo.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), recalque é o movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando o movimento é ascendente, denomina-se levantamento. Convenciona-se representar o recalque com sinal positivo. Nas obras em que as cargas mais importantes são verticais, a medição de recalques constitui o recurso fundamental para a observação do comportamento da obra.

É importante definir até que ponto o recalque em uma obra é admissível, levando-se em conta a aparência visual, a funcionalidade e a estabilidade dela. Conforme Alonso (1991), os recalques podem ser **uniformes ou absolutos**, quando atuam em toda a edificação, os quais resultam em um rebaixamento uniforme descendente sofrido diante de uma solicitação (carregamento) de todos os pontos da fundação, ou **diferenciais**, se ocorrem em uma parte da edificação, havendo um rebaixamento desigual, sendo definido como a diferença entre os recalques absolutos de dois elementos de fundação. Ver Quadro 13.

Quadro 13: Tipos de recalques e danos associados.

Tipos de Recalques	Danos Associados
<p data-bbox="560 338 678 365">Uniforme</p> 	<p data-bbox="842 338 1214 517">Danos arquitetônicos (estéticos e funcionais), dependendo da grandeza dos recalques. Danos às ligações com o exterior (instalações, rampa, escada).</p>
<p data-bbox="432 530 805 562">Não uniforme; sem distorção</p> 	<p data-bbox="842 530 1214 618">Danos arquitetônicos: desaprumo em prédios altos, etc.</p>
<p data-bbox="432 748 805 779">Não uniforme; com distorção</p> 	<p data-bbox="842 748 1214 898">Danos arquitetônicos: fissuração, distorção de vãos, etc. Danos estruturais: fissuras em vigas, etc.</p>

A prática brasileira de fundações consiste em realizar o controle de recalque apenas em situações em que são observados problemas em edificações, tais como trincas ou rachaduras. Porém, é necessário, que a medida de recalque seja realizada desde o início da construção como um controle de qualidade das fundações.

A probabilidade de ocorrer algum dano na estrutura só existe na presença dos recalques diferenciais. Entretanto, há que se observar ainda que, dependendo da magnitude desses recalques, as estruturas podem sofrer esforços adicionais que não foram previstos anteriormente no projeto e que ocasionarão futuros problemas estruturais e patologias na construção de toda ordem.

Diante disto, existe uma necessidade de se medir estes movimentos do solo e da estrutura (recalques diferenciais, distorções angulares e etc.), buscando não atingir os limites calculados com a fundação submetida aos esforços no estado limite de utilização (NBR 6122, ABNT 2010).



9.1 Tipos de recalques

- **Recalque inicial ou imediato:** suportável na maioria dos casos, é causado pela acomodação do solo/fundações e pela saída de gases (ar), ocorrendo em poucas horas. Ocorre ao mesmo tempo em que a carga é aplicada, sendo predominante nas areias e solos não saturados;
- **Recalque por adensamento primário:** é o maior dos recalques, podendo levar a obra à ruptura. Ocorre por adensamento em solos de baixa permeabilidade saturados (saída de água ou ar do solo até que os grãos encostem uns nos outros), ou seja ocorre a redução de volume decorrente da saída do ar e da água dos poros do solo. Em solos arenosos ocorre em poucos minutos, em solos argilosos pode levar anos;
- **Recalque por adensamento secundário:** pouco influente na maioria dos casos, ocorre por deformação estrutural do esqueleto sólido em solos de origem orgânica. É causado pelo rearranjo estrutural resultante das tensões de cisalhamento;
- **Recalque por colapso:** mais comum em solos porosos não saturados, pode levar uma obra à ruína. É gerado pelo enfraquecimento das microligações entre as partículas ou pelo abatimento do solo mal compactado e pode manifestar-se em poucas horas;
- **Recalque por dissecação:** causado pelo rebaixamento do lençol freático, ocorre progressivamente, durante e após esse rebaixamento. Esse aumenta o peso específico da camada rebaixada, a qual diminui ou perde o alívio do empuxo hidrostático;
- **Recalque por vibrações:** em geral, não são graves, mas resultam na geração de trincas. São ocasionados pela vibração de equipamentos de compactação, bate-estacas, britadores, entre outros;
- **Recalque por subsidência:** causado pela escavação de túneis, que produzirão abatimentos não uniformes da superfície, provocando recalques diferenciais nas fundações e podendo levar a obra à ruína;



- **Recalque distorcional:** causado pela Distorção Angular/ Rotação Relativa/Recalque Diferencial Específico, é a rotação de reta utilizada para definir o desaprumo e também pode levar a obra à ruína.

9.2 Causas de recalque

Dentre as origens dos recalques destacam-se:

- Erros de projeto e/ou execução;
- Adensamento do solo;
- Ruptura do solo;
- Falhas de concretagem e/ou deformação do concreto (fluência);
- Fundações;
- Sobrecarga (não prevista no projeto);
- Alteração do uso da edificação;
- Temperatura;
- Construções vizinhas;
- Rebaixamento do lençol freático (modificação do entorno);
- Erro de locação da fundação ou pilares.

9.3 Monitoramento e avaliação de recalques

O monitoramento de recalque de uma edificação é o acompanhamento temporal do desempenho da fundação, permitindo assim uma análise da interação do conjunto solo-estrutura.

Avaliando a evolução dos valores de recalque ao longo do tempo, através de um adequado programa de monitoramento de recalques, pode-se acompanhar o aparecimento de recalques diferenciais que com o tempo possam vir a comprometer o desempenho da estrutura.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), o monitoramento de recalque passa a ser exigido para as seguintes situações:



- Estruturas nas quais a carga variável é significativa em relação à carga total, tais como silos e reservatórios;
- Estruturas com mais de 60 m de altura do térreo até a laje de cobertura do último piso habitável;
- Relação altura/largura (menor dimensão) superior a quatro; fundações ou estruturas não convencionais.

A primeira etapa da avaliação de recalques abrange a investigação das causas, com vistoria no local, a coleta e organização das informações referentes à edificação necessárias ao diagnóstico (entendimento) do problema, como, por exemplo:

- Idade de edificação;
- Idade das fissuras;
- Variações de abertura das fissuras (sazonal ou contínua);
- Vazamentos de tubulações, caixa de gordura, fossa séptica, sumidouro, cisterna, etc.;
- Períodos de secas/enchentes;
- Obras vizinhas;
- Vibrações (abalos sísmicos);
- Minas subterrâneas;
- Reformas (mudanças de uso);
- Análise/estudo dos projetos: memorial descritivo; projeto arquitetônico, estrutural, hidros-sanitário, elétrico; diário de obras; laudos de sondagem: investigação no subsolo; relatório de execução de fundações; ensaios *in loco* ou em laboratórios;
- Pesquisa bibliográfica/especialista na área de manifestações patológicas.

A segunda etapa compreende o diagnóstico, isto é, o resultado da investigação, com a identificação das causas do problema.

Já a terceira etapa pauta-se no prognóstico, isto é, na definição das ações a serem tomadas.



9.4 Deformações admissíveis

Deformações são fenômenos normais do solo e quando excedidas além de determinado limite, podem conduzir a fraturas e deslizamentos prejudiciais. Ao se considerar as deformações admissíveis em uma obra devem ser estabelecidos limites aos movimentos que, basicamente, devem atender a três critérios: aparência visual; funcionalidade e estabilidade.

Deformações maiores que os valores admissíveis podem causar danos na maioria das construções, pois todas as estruturas recalcam, com maior ou menor magnitude, dependendo de uma série de condições. Quando da medição das deformações em estruturas deve ser estabelecido um plano de instrumentação e observação.

A NBR 6122 sobre projeto e execução de fundações (ABNT, 2010) aponta que os deslocamentos admissíveis máximos suportados pela estrutura devem ser definidos pelos projetistas envolvidos.

9.5 Plano de instrumentação e observação

O controle de deslocamento das estruturas envolve na maioria das vezes diferentes técnicas e métodos de medição. Para cada tipo de construção é desenvolvida uma técnica para o monitoramento, considerando: necessidade; precisão; forma de apresentação: contínua ou fragmentada por minutos, semanas ou meses; tipo de carga: estática ou dinâmica; cCondicionantes: solo do local, estrutura utilizada, alterações no entorno, tamanho da estrutura, utilização, acidentes, dentre outros.

O plano deve ser adequado às características peculiares da estrutura considerando seu porte, finalidade e utilização. Deve abranger:

- As grandezas a observar;
- Características dos equipamentos;
- Cuidados na instalação; aquisição de dados;



- Tratamento da informação;
- Limites da atenção e alerta;
- Inspeções visuais.

9.6 Controle de recalques

A fim de garantir uma avaliação segura acerca dos recalques em uma fundação, as medições devem ser realizadas com equipamentos que alcançam uma precisão na ordem de 0,01 mm. Também é necessário escolher uma RN fora da área de instabilidade, a qual poderá ser engastada em camadas profundas com a injeção de cimento ou com a cravação de estacas.

Precisam-se escolher os pilares (estrutura) ou pontos da edificação a serem monitorados e demarcá-los com o uso da topografia. As medições desses pontos ser devem repetidas uma série de vezes, de preferências no mesmo horário (início da manhã), gerando a caderneta com o controle de recalques, a partir da qual serão calculados os recalques parciais (leitura de uma data menos a anterior), totais (leitura de uma data menos a inicial) e a velocidade destes.

Um dos acompanhamentos necessários é o do mapeamento das fissuras, rachaduras ou trinca com a utilização de um *software* de CAD e cores diferentes para cada uma das datas. Já o controle da verticalidade (desaprumo) é o acompanhamento periódico para determinação do deslocamento vertical (prumo) de uma edificação. A frequência das observações dependerá de cada caso, e poderá ser desde algumas horas até mesmo dias ou meses. Quanto ao controle de flambagem, pode-se determiná-lo com um fio de prumo ou ainda através de métodos topográficos, os quais são mais confiáveis.

Algumas observações importantes que devem constar no relatório, uma vez que podem influenciar nas medições, como volume de chuvas no período, a temperatura, a velocidade média do vento e o clima (ensolarado ou nublado) no horário das leituras.

9.7 Métodos de monitoramentos

Existem dois métodos de monitoramento das deformações em estruturas: geodésicos e geotécnicos. Os métodos geotécnicos são utilizados para detectar movimentos relativos e abrangem as técnicas geotécnicas e de engenharia estrutural (*strainmeters*, extensômetros, *tiltmeters*, pêndulos, clinômetros, entre outros) e os projetos especializados de monitoramento (interferometria a laser, nivelamento hidrostático, alinhamento vertical ou a laser, métodos holográficos).

Os métodos geodésicos consistem em utilizar uma rede de pontos interconectados por ângulos e/ou medidas de distância, que usualmente proporcionam suficiente redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros. Essa técnica proporciona informações globais sobre o comportamento do objeto deformável, enquanto as medições geotécnicas proporcionam informações localizadas.

Em síntese os deslocamentos e deformações de uma estrutura são controlados por métodos geotécnicos e os recalques são monitorados por métodos geodésicos. Ver Figura 42.

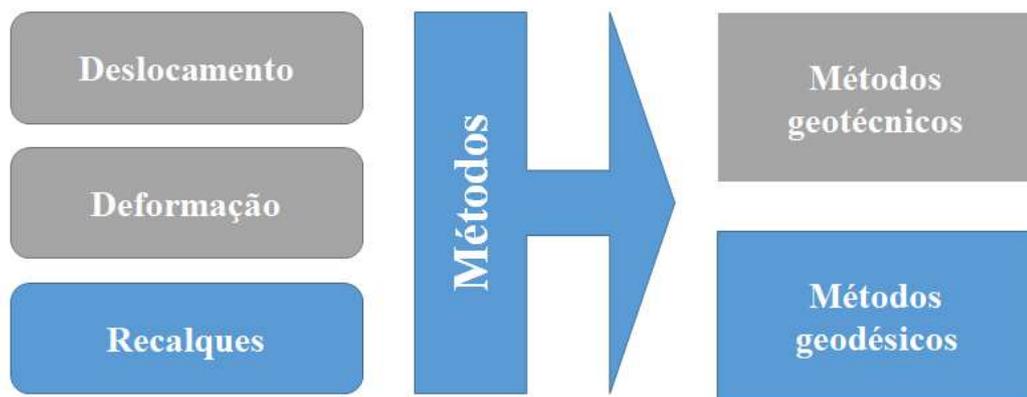


Figura 42: Métodos geotécnicos e geodésicos para monitoramento de recalques.
Fonte: Notas de aula professora Yuzi Rosenfeldt (2019).

Os métodos de monitoramento geodésico visam encontrar alterações de coordenadas (planimétricas e/ou altimétricas), com base em uma série de leituras de pontos, em determinado período de tempo, detectando se um ponto alvo ou



conjunto de pontos apresenta variações nas coordenadas (X; Y; Z) ao longo do tempo. Caso sejam observadas variações, houve deslocamento.

Comparado com outros tipos de levantamentos, as medidas de deslocamento necessitam de alto grau de exatidão, repetibilidade de observações, integração de diferentes tipos de observações e análise estatística dos dados adquiridos.

De acordo com Corrêa (2012) os processos de medida de deslocamento de grandes estruturas tais como barragens, pontes, edificações, bases de reatores, etc. podem ser obtidos através de teodolitos e níveis. Os deslocamentos sofridos por grandes estruturas podem ser de dois tipos: horizontais e verticais.

9.7.1 Determinação de Deslocamento Horizontal de Grandes Estruturas

A medida dos deslocamentos de uma barragem, por exemplo, pelo método trigonométrico, de acordo com Corrêa (2012) tem por fim a determinação do deslocamento no espaço de pontos localizados sobre a construção e que são materializados por marcas ou sinais especiais. Marcas fixas são colocadas sobre a barragem e sobre as rochas encaixantes da barragem, em pontos afastados da mesma, tais como os mostrados na figura 43 e em pontos frontais à barragem, de tal maneira que se possa avistar todas as marcas colocadas sobre a barragem e sobre as rochas encaixantes, a partir de pilares construídos para a sustentação dos aparelhos (Teodolitos ou Estações Totais), normalmente em número de quatro ou mais.

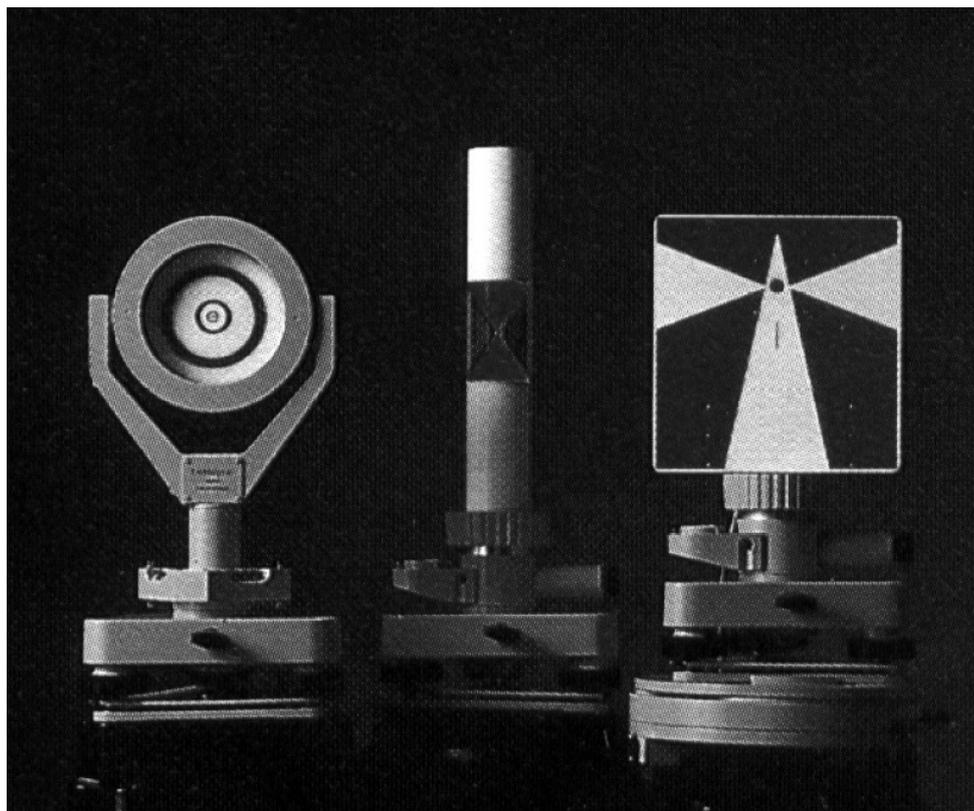


Figura 43: Miras ou pontos de visada.
Fonte: Corrêa (2012).

A partir destes pilares, que serão as estações dos teodolitos ou estações totais, constrói-se uma triangulação topográfica (Figura 44), de preferência amarrada a uma ou mais Referências de Nível (RN), com a medida de uma base a fim de se conhecer as distâncias e as posições relativas dos pilares e marcas.

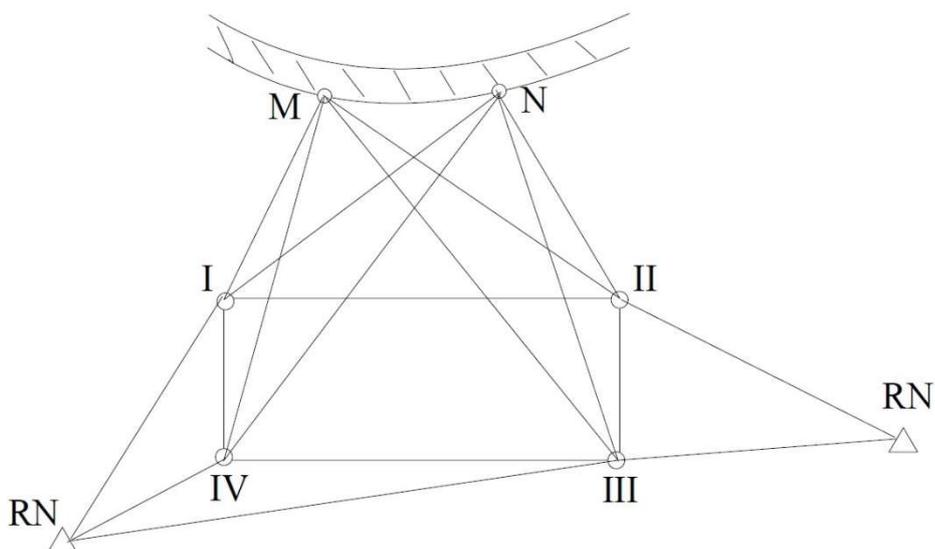




Figura 44: Vista em planta da triangulação efetuada entre as estações e os pontos da barragem.

Fonte: Corrêa (2012).

A fim de se precaver da hipótese de um deslocamento dos pilares de observação, é aconselhável estabelecer, fora da zona de possível movimentação do terreno, outros pilares e marcas de referência, sempre em relação, se possível, de um RN.

Tendo em vista a precisão exigida na medida dos ângulos, pois se trata da determinação de deslocamento da ordem de milímetros, deve-se tomar certas precauções:

- 1) As observações devem ser efetuadas à noite, para que as perturbações atmosféricas sejam diminuídas;
- 2) Perfeita centragem do aparelho sobre os pilares;
- 3) Na medida dos ângulos, deve-se empregar o método da reiteração com todos os requisitos para se eliminar os erros residuais dos instrumentos e os extra instrumentais;
- 4) O erro residual da verticalidade do eixo principal deve ser determinado e corrigido, utilizando-se o nível;
- 5) Deve-se cuidar da refração ocasionada pelas massas rochosas das vizinhanças da barragem.

Consideremos uma marca "M" da barragem, dois pilares "I" e "II" engastados no terreno e de marcas "RN" de referência, também engastadas no terreno mas distanciadas da barragem conforme figura 45.

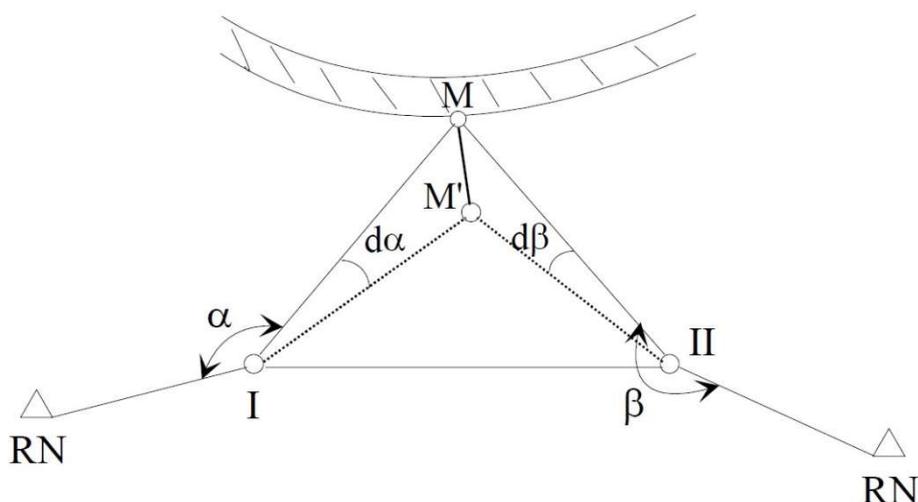


Figura 45: Triangulação em relação a uma marca da barragem.
Fonte: Corrêa (2012).

Supondo-se que o terreno onde se encontram os pilares (I e II) e as RN não sofram qualquer deslocamento ou deformação por ação da pressão exercida pela água da barragem ou mesmo pela construção desta, o problema consiste em se determinar o deslocamento horizontal MM' da barragem em relação aos pilares considerados fixos. Para isso, basta montar um teodolito/estação total de precisão em cada um dos pilares e medir os ângulos que, em duas épocas diferentes entre as quais se deseja medir o deslocamento, a direção entre o pilar e o RN faz com a direção entre o pilar e a marca da barragem. A diferença entre estas duas medidas, feitas em épocas diferentes, permite determinar a nova posição M' da marca, relativa à antiga posição M .

9.7.2 Procedimentos operacionais para monitoramento de recalque

De acordo com *Department of the Army* (1994), dos Estados Unidos, os procedimentos gerais para monitorar a deformação de uma estrutura envolvem a medição dos deslocamentos espaciais de pontos selecionados (alvos), a partir de pontos de referência, que têm suas posições controladas. Estes pontos de referência, são definidos por meio de uma rede geodésica de monitoramento.

Essa rede pode ser uma Rede Absoluta ou de Referência quando são estabelecidos pontos fora do corpo deformado. São pontos de referência para



determinação dos deslocamentos absolutos do objeto investigado (estrutura) ou pode ser uma Rede Relativa quando todos os pontos estão no objeto investigado. O objetivo é investigar o modelo de deformação causado pelas forças e tensões atuantes, os deslocamentos relativos do corpo rígido e os deslocamentos pontuais.

A fim de garantir uma avaliação segura acerca dos recalques em uma fundação, as medições devem ser realizadas com níveis de alta precisão, devidamente classificados de acordo com a classe de níveis de precisão da NBR 13.133 da ABNT (1994). Ver Tabela 02.

Tabela 02: Classificação dos níveis em relação à precisão.

Classe	Precisão	Desvio Padrão
1	Baixa	$> \pm 10\text{mm/km}$
2	Média	$\leq \pm 10\text{mm/km}$
3	Alta	$\leq \pm 3\text{mm/km}$
4	Muito alta	$\leq \pm 1\text{mm/km}$

Os instrumentos utilizados para medição dos recalques são, basicamente: mira; nível ótico; pino e RN. O sistema de medição de recalque mais adotado é o **nivelamento com nível ótico de precisão** munido de um micrômetro, assim, qualquer que seja o tipo de nível utilizado, a precisão horizontal do eixo de colimação deverá ser melhor que $0.35''$ e a precisão do desnível observado em 1 km de nivelamento duplo, deverá ser melhor que 0,4 mm. A figura 46 ilustra o procedimento.

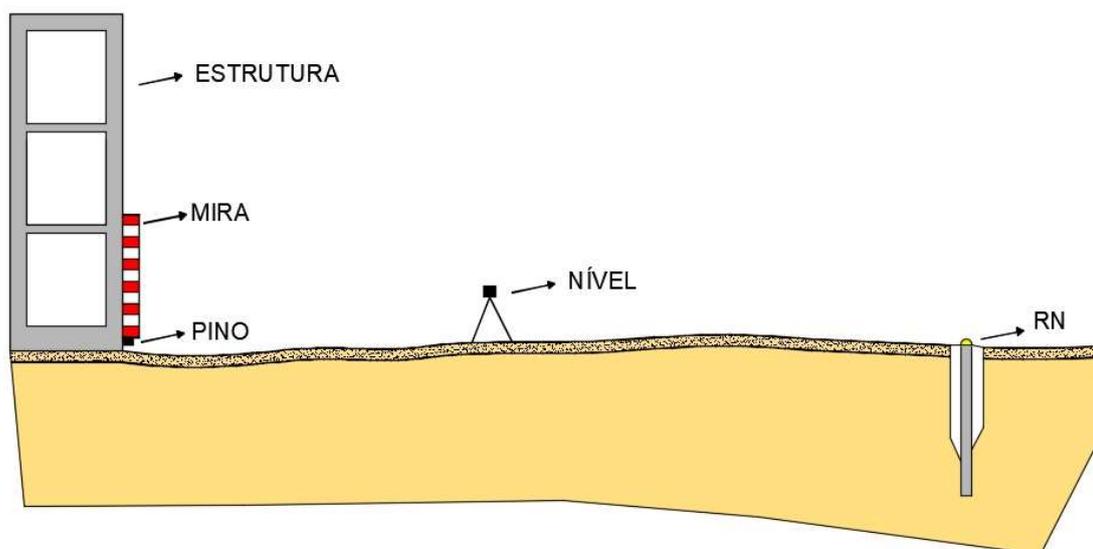
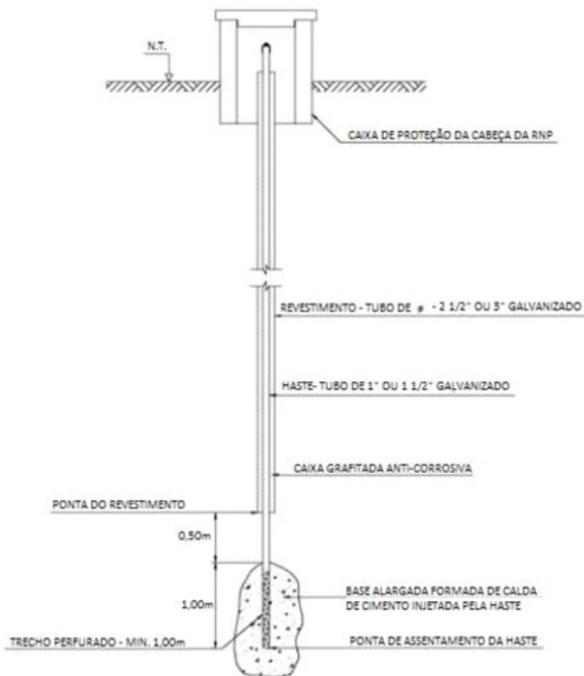


Figura 46: Monitoramento de recalque utilizando nivelamento geométrico.

Os recalques podem ser medidos em **valor relativo** a partir de uma graduação estabelecida em uma RN. Para tanto, o trabalho inicia-se na determinação de uma RN fora da área de instabilidade, externamente à área suscetível a recalque, e a sua implantação deve seguir a NBR 13.133, para garantir a sua não dissociabilidade e construído sobre elemento firmemente engastado no solo ou em rocha. Sugere-se mais de uma RN.

A RN deve ser protegida por uma caixa de concreto ou metal e a haste controlada por nível de cantoneira a qual poderá ser engastada em camadas profundas com a injeção de cimento ou com a cravação de estacas. Este procedimento chama-se implantação de **Bench-Mark** (procedimento nº 1). (Ver Figuras 47a, 47b e 47c).



a) Projeto de implantação de um Bench-Mark.

b) Bench-Mark implantado.



c) Caixa de proteção de Bench-Mark.

Figura 47: Procedimento nº 1.

Fonte: Zonta (2020).

Em seguida, deve-se escolher a estrutura (pilares) e os pontos de referência da edificação (pontos - objeto) que serão monitorados. Os pontos de controle devem ser distribuídos de acordo com a característica geométrica da estrutura ou da edificação. Em estruturas convencionais, com pilares, recomenda-se a implantação de pinos em todos os pilares. Nas edificações em alvenaria estrutural, o indicado é distribuir a instalação de um maior número possível de pinos (procedimento número 2). Após batizar cada um dos pinos cravados na estrutura (procedimento número 3), uma mira graduada, é instalada sobre os pinos

e deve ter sua verticalidade controlada por níveis de cantoneira (procedimento número 4). Ver Figuras 48a, 48b, 48c e 48d.

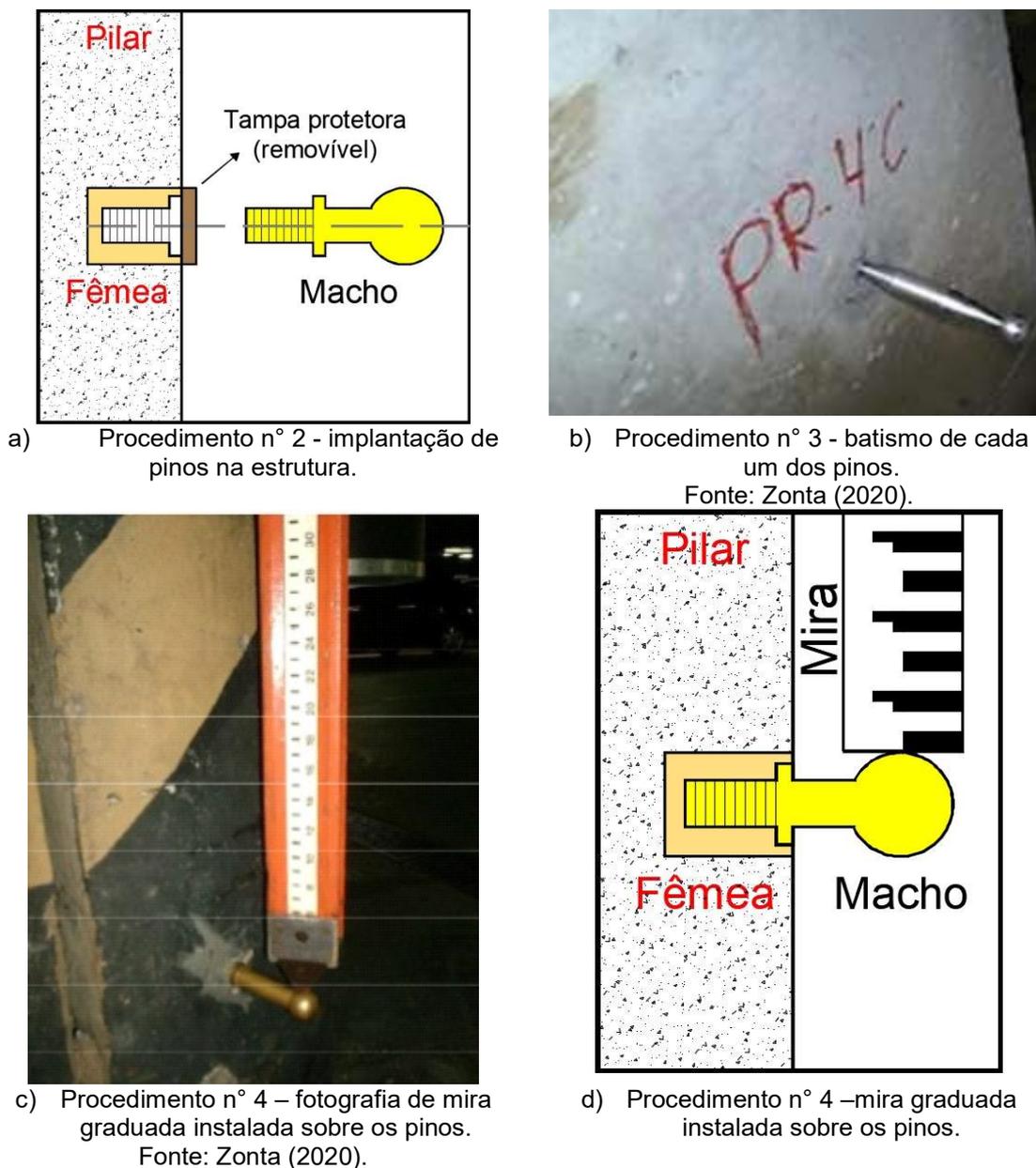


Figura 48: Procedimentos nº 2, 3 e 4.

De acordo com Aragão (2011), para ilustrar o monitoramento de recalque através de nivelamento geométrico tem-se a Figura 49 onde é realizada a leitura dos comprimentos “La” e “Lb” e em seguida, a partir da diferença entre as leituras, obtêm-se a diferença de nível ΔL entre o pino de recalque e o Bench-Mark.

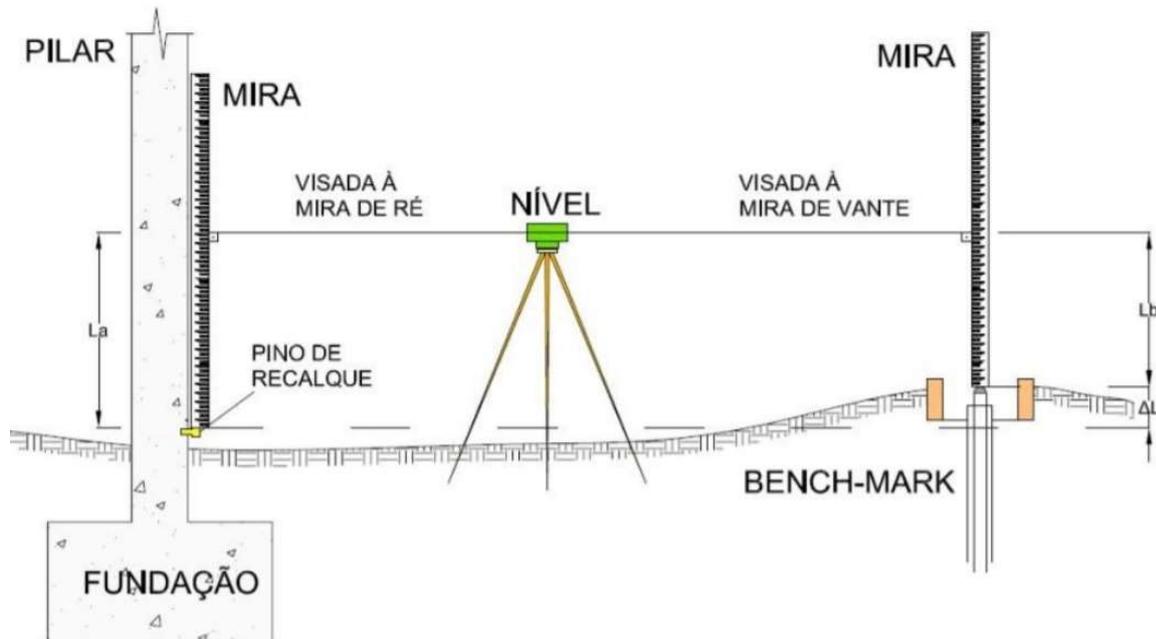


Figura 49: Monitoramento de recalque por nivelamento geométrico (pino e Bench-Mark).

Fonte: Aragão (2011).

10. LOCAÇÃO DE OBRAS

Conforme Silva e Segantine (2015) para que um projeto de engenharia esteja completo é necessário que seja implantado (construído) sobre o terreno os elementos geométricos, as construções e suas infraestruturas, definidas pelo projetista. Desta forma, para que as obras projetadas possam ser construídas, é necessário determinar no terreno a localização de seus elementos construtivos.... A esta fase de projeto dá-se o nome de locação da obra ou implantação da obra.

De acordo com a ISSO 7078 “locar uma obra significa estabelecer os marcos e as linhas de referência que permitam definir a posição e as cotas dos elementos de uma construção”.

A locação também pode ser definida como a prática topográfica de implantação no terreno dos pontos que forneçam informações planimétricas e/ou altimétricas, de modo que se possa executar uma obra de acordo com um projeto (TULER E SARAIVA, 2014). De acordo com os autores:



- As **marcações planimétricas** são implantadas no terreno em forma de pontos (piquetes, pregos, marcos de concreto), que determinam alinhamentos de eixos ou bordos, vértices, direções ou outras referências para construção de uma obra. Geralmente, as coordenadas topográficas ou UTM desses marcos são conhecidas e servirão de apoio na implantação do projeto no campo.
- As **marcações altimétricas** são implantadas pelas RRNN com sua cota ou altitude relacionada também com o projeto em questão. As demarcações de cotas, alturas de corte ou aterro de um projeto podem ser feitas acompanhando-se o ponto planimétrico, com informações escritas em uma estaca ao lado do piquete.

De acordo com Corrêa (2012) os levantamentos para locação de obras podem ser de maior ou menor complexidade, dependendo da forma do terreno, da importância da estrutura a ser locada e da amplitude da obra. Entretanto, quatro tipos de trabalhos topográficos se fazem necessários para a locação de obras:

- Levantamento preliminar, o qual consiste em um levantamento topográfico da superfície que incluirá a estrutura a ser construída;
- Levantamento para o projeto, que consiste na obtenção de dados de detalhamento para a confecção do projeto da obra;
- Levantamento de controle, que consiste em obtenção e confirmação de dados que permitam a locação da obra com grande precisão;
- Locação da obra, que consiste na determinação dos pontos, em campo, que permitirão o início da construção da obra.

A prática de locação, conforme Tuler e Saraiva (2014) tem especificidades para cada tipo de projeto ou obra, devendo-se executar a melhor marcação possível, a fim de que a representação do projeto fique bem definida em campo. A seguir são apresentados alguns projetos que necessitam de locação de acordo com os autores:

- Construção de vias de transportes (eixos de rodovias e ferrovias, intersecções viárias, etc.).



- Edificações (demarcar estacas, blocos e sapatas, eixos de pilares, etc., por exemplo a demarcação da obra com um gabarito ou tabeira).
- Locação de loteamentos (lotes, glebas, sistema viário, área de proteção ambiental, etc.).
- Mineração (locação de frentes de lavra e banquetas, pontos de sondagem, poços piezométricos, furos para explosivos, drenagem, etc.).
- Controle de terraplenagem (alturas de corte e aterro, inclinações de taludes, banquetas, sistema de drenagem).
- Construções com características de desenvolvimento vertical (torres, chaminés, dutos, contrapesos, poços de elevador, etc.).
- Túneis e barragens (traçados, altura do nível de água, etc.).
- Montagens industriais (eixos, alinhamentos horizontais e verticais, paralelismos, etc.).
- Canalizações e redes de transmissão (traçados em geral, etc.).

Além disso, de acordo com Tuler e Saraiva (2014), os equipamentos a serem utilizados para as locações dependem:

- Da precisão imposta;
- Dos elementos da planilha de locação em questão, se por coordenadas polares ou retangulares;
- Do custo da produção.

E também, conforme Tuler e Saraiva (2014), pode-se demarcar nas próprias estacas as alturas de corte e aterro, em uma referência ao greide, ou ainda, construir cruzetas para a marcação de aterros. Em obras civis é comum a demarcação de pontos de interesse a partir do gabarito ou “tabeira”. As estacas de referências devem ser protegidas com marcos de concreto e chapas metálicas, uma vez que geralmente tais pontos são utilizados até o final da obra.

Conforme Corrêa (2012) existem diferentes métodos de locação, os quais variam em função do tipo de edificação. É evidente que há diferenças em se locar um “*shopping center*” de 450 x 300 m² de área, de um edifício de vários pavimentos



de 30 x 38 m² de área ou uma habitação térrea de 8 x 12 m² de área. No projeto de locação a obra estará referenciada a um ponto conhecido e previamente definido. A partir deste ponto, passa-se a locar no solo a projeção da obra desenhada na planta. É comum ter-se como referência, para a locação da obra, os seguintes pontos:

- O alinhamento da rua;
- Um poste localizado no alinhamento do passeio;
- Um ponto deixado pelo topógrafo quando da realização do controle da terraplenagem;
- Uma lateral do terreno quando este estiver corretamente localizado.

De acordo com Corrêa (2012) para ilustrar estes referenciais, imagina-se a necessidade de locar uma casa de área 8 x 12 m², em um terreno de 15 x 40 m² de área. O projeto de locação deverá indicar o referencial fixo adotado para a implantação da obra. Este referencial poderá ser o alinhamento do terreno, se este estiver corretamente definido, o alinhamento do passeio, ou um poste como exemplificado na Figura 50.

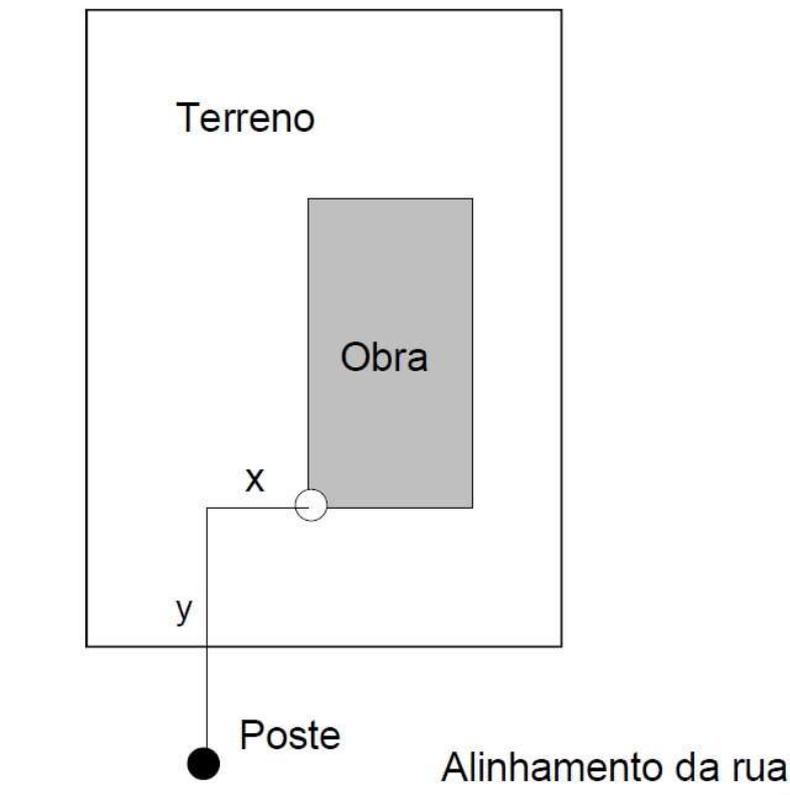


Figura 50: Locação utilizando poste como referência.
Fonte: Corrêa (2012).

O número de pontos de apoio para a locação da obra, precisão de suas coordenadas, tipo de marco e linha de referência e os procedimentos dependem do tipo e do tamanho da obra/projeto. Locar uma via de acesso, um loteamento, uma ponte ou um edifício exigem procedimentos de campo diferentes, tornando difícil estabelecer procedimentos genéricos. Mesmo assim existem alguns métodos que são comuns para todos os tipos de locações e que devem ser seguidos independentemente da obra a ser locada. Neste contexto, de acordo com Silva e Segantine (2015) os métodos de locação de obras podem ser classificados em duas categorias: métodos geométricos e métodos analíticos.

10.1 Métodos geométricos de locação de obras

O método de locação é geométrico quando o estabelecimento de marcos e das linhas de referência é realizado a partir da aplicação direta de conceitos da geometria plana. São utilizados para obras de pequeno porte onde as medidas de



distância podem ser realizadas diretamente. A vantagem é que os métodos são mais intuitivos, porém exigem mais prática da equipe (SILVA E SEGANTINE, 2015). A seguir são apresentados os métodos mais comuns de acordo com os autores.

10.1.1 Uso de gabarito de madeira

Conforme Silva e Segantine (2015) o método geométrico mais comum, usado praticamente em todas as construções de residências e obras semelhantes, é o método de locação a partir da construção de um gabarito em madeira no entorno da construção. A montagem de um gabarito deste tipo é muito simples, consistindo apenas de travessas de madeira pregadas em montantes fixos no terreno, conforme indicado na Figura 51. O gabarito assim montado torna-se a estrutura de apoio geométrico da locação. Tomando as laterais do gabarito com os alinhamentos de referência, o engenheiro traça as intersecções e os alinhamentos dos elementos da obra por intermédio de fios de *nylon* adequadamente posicionados no gabarito. Ele deve, por isso, ser construído seguindo algumas regras básicas, tais como:

- Abranger todo perímetro da construção;
- Ser fixo no solo e construído de maneira a não se mover facilmente;
- Possuir pelo menos um dos lados referenciados às diretrizes da obra;
- Ser esquadrejado e nivelado;
- Possuir uma altura sobre o terreno que facilite a sua visualização e o seu uso como estrutura de referência.

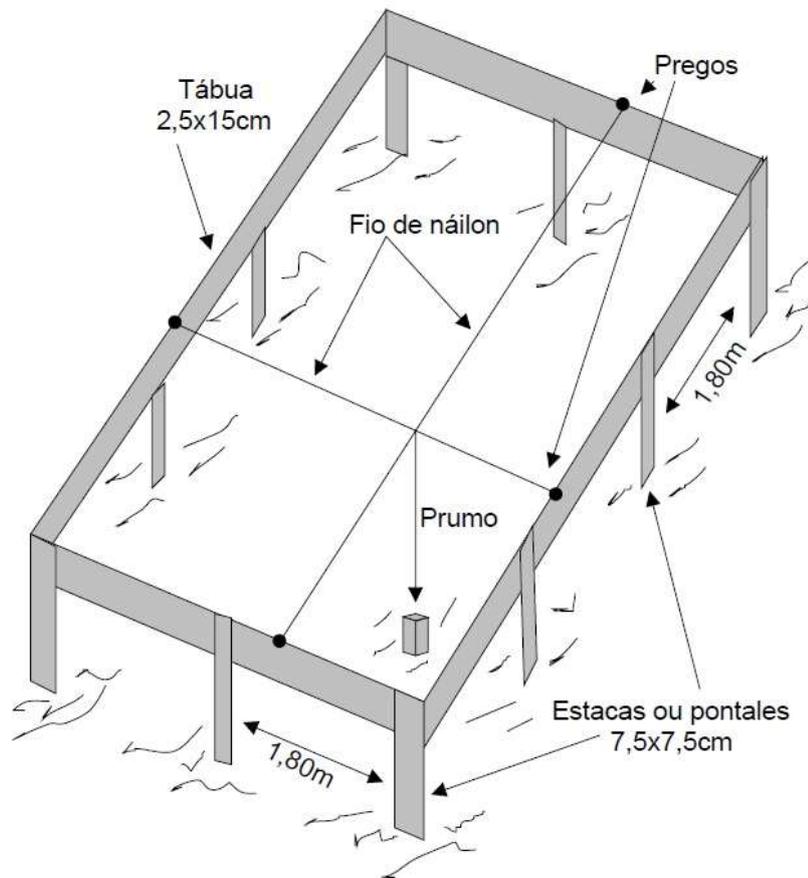


Figura 51: Gabarito para locação de obras.
Fonte: Corrêa (2012).

10.1.2 Locação com teodolitos

Para obras de grande porte, para as quais não é possível usar um gabarito, a locação geométrica é feita por intermédio de teodolitos ou estações totais. O instrumento é usado para definir alinhamentos e demarcar ângulos para os traçados de linhas paralelas e perpendiculares aos alinhamentos de referência. Os procedimentos de campo variam podendo ser, de acordo com Silva e Segantine (2015):

- **Prolongamentos de alinhamentos:** utilizado na construção de estradas e loteamentos;
- **Verificação da verticalidade de colunas:** utilizado para verificar colunas, quando não muito altas usa-se nível de pedreiro, quando altas se usa teodolitos ou estação total;



- **Determinação de retas perpendiculares:** pode ser realizada através de triângulo isósceles ou triângulo retângulo.

10.2 Métodos analíticos de locação de obras

De acordo com Silva e Segantine (2015) o método é analítico quando o estabelecimento de marcos e das linhas de referência é realizado a partir do uso das coordenadas dos pontos a serem locados. Utiliza-se para isso uma estação total ou um receptor GNSS, operando em modo RTK, para a localização dos pontos. Atenção especial deve ser dada ao tipo de coordenada disponível. Elas podem estar referenciadas ao sistema topográfico local, não necessitando assim de correção de fator de escala ou ao plano de projeção UTM, necessitando da correção do fator de escala, conforme já visto no conteúdo de topografia I.

10.3 Locação de Túneis

Nos levantamentos topográficos para a locação de túneis, os trabalhos a serem efetuados consistem na determinação e materialização da direção do eixo nas duas frentes de serviço, bem como a determinação do desnível entre os dois extremos (CORRÊA, 2012). Dois sistemas podem ser utilizados para a locação dos eixos de túneis: por poligonação ou por triangulação. Toda a vez que se trabalha com estes métodos, deve-se utilizar, como coordenadas dos pontos ou estações, as coordenadas do sistema de projeção métrica (UTM).

Na locação de um eixo de túnel, deve-se ter cuidado para que o erro de nivelamento e alinhamento sejam os menores possíveis e sempre abaixo do erro máximo permitido pelo projeto.

10.1.1 Locação de Túneis por Poligonal

O sistema de locação de um eixo de túnel por poligonal pode ser aplicado em áreas de pouco relevo. Este processo consiste em se efetuar um reconhecimento da área e a locação inicial das estações correspondentes aos dois

extremos do túnel, que deverão estar amarradas a Referências de Nível (RN) e suas coordenadas estabelecidas (Figura 52).

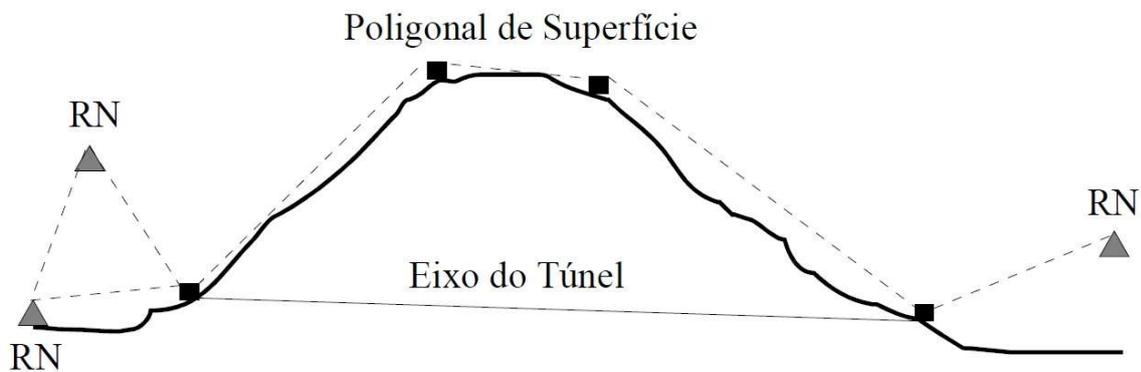


Figura 52: Locação do eixo de um túnel por poligonal.
Fonte: Corrêa (2012).

Conhecidas as coordenadas dos dois extremos do eixo a ser locado, determina-se o Azimute do alinhamento e a partir deste traça-se a poligonal em campo e vai-se estaqueando o alinhamento em intervalos regulares preestabelecidos. O comprimento dos intervalos de estaqueamento dependerá do comprimento do eixo do túnel e da morfologia do terreno. Sobre locação de chaminés em túneis ver detalhes em Corrêa (2012).

10.1.2 Locação de Túneis por Triangulação

No caso de abertura de túneis em regiões acidentadas, conforme Corrêa (2012) o método de locação mais aconselhado é o da triangulação (Figura 53). Após o reconhecimento da área e a demarcação dos pontos extremos do eixo a ser locado, determina-se à localização das estações que servirão de apoio à triangulação. Sempre que possível, a rede de triangulação a ser levantada deverá estar amarrada a RRNN conhecidas. Caso contrário, necessita-se medir uma base inicial e uma base de cheque final para que se possa determinar o azimute do eixo e seu respectivo comprimento, com o auxílio dos ângulos internos da triangulação.

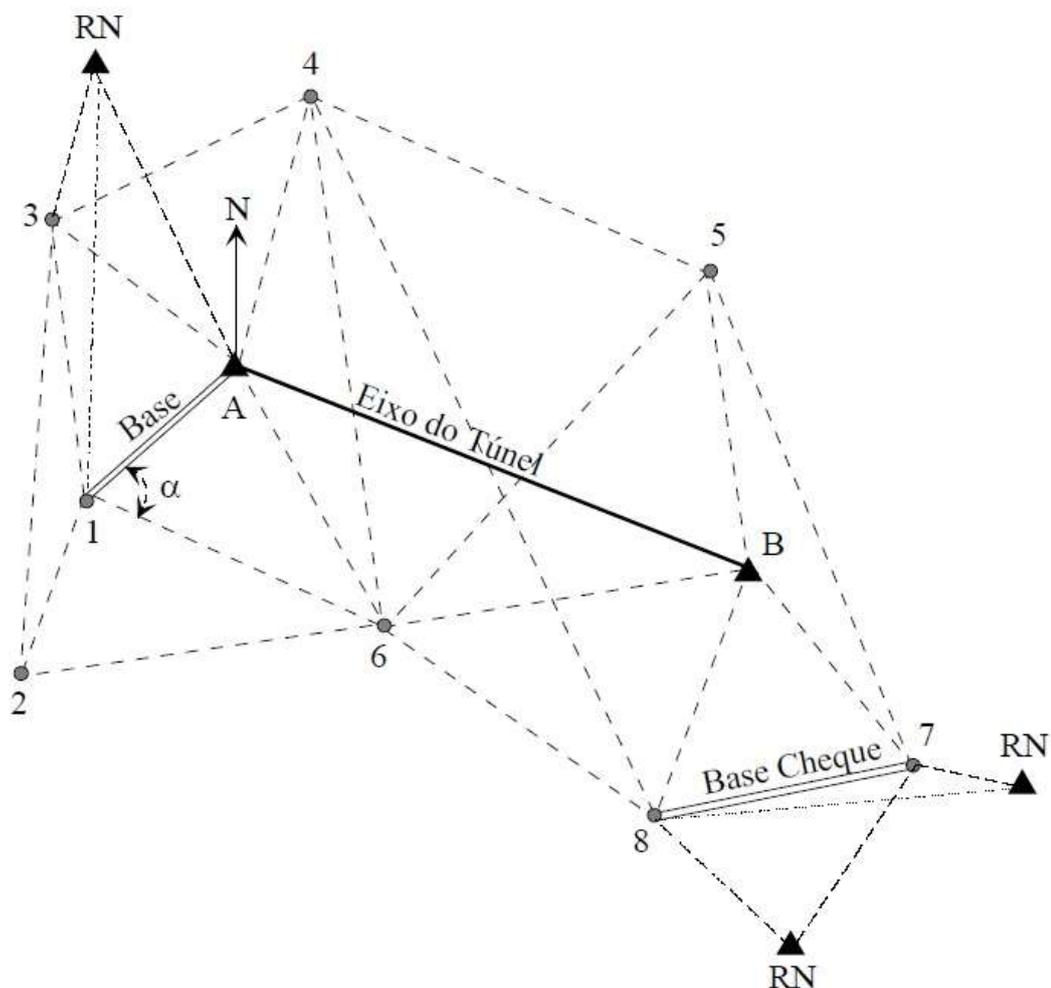


Figura 53: Locação de eixo de túnel por triangulação.
Fonte: Corrêa (2012).

Com os dados da triangulação, calcula-se o comprimento dos lados da mesma, o azimute dos alinhamentos, as coordenadas das estações e finalmente às coordenadas dos extremos do eixo e sua respectiva orientação. Com as coordenadas dos extremos do eixo conhecidas, determina-se o comprimento do mesmo. As coordenadas dos vértices do eixo permitirão, igualmente, o cálculo do azimute direto e inverso, os quais possibilitarão que as escavações possam ser realizadas a partir das duas extremidades.

Caso haja possibilidade, o nivelamento do eixo deverá ser efetuado pelo método geométrico. Se este não for possível, utiliza-se o nivelamento trigonométrico pelo método das visadas recíprocas e simultâneas entre as estações da triangulação.



10.3 Locação de Eixos de Pontes

De acordo com Corrêa (2012) a locação de eixos de pontes pode ser efetuada através do processo da triangulação, controlado a partir de uma ou duas bases, e deve sempre estar amarrada a uma RN. Através do comprimento da base medida em campo e dos ângulos internos, a triangulação possibilitará determinar as coordenadas de cada estação e, por fim, as coordenadas dos extremos da ponte, permitindo assim calcular o vão. Na triangulação ao longo de um rio, para a locação de uma ponte, é importante que a distância ao longo da linha central da estrutura, eixo da ponte, seja determinada com precisão e que seja possível se efetuar uma verificação. A precisão exigida é geralmente de 1:10.000 para as pontes com vãos compridos. Podem ocorrer situações diferentes, conforme o autor:

- Quando o vão da ponte for de pequena amplitude, de 200 a 300 metros, a locação do eixo pode ser efetuada medindo-se uma base, em uma das margens do rio, com erro relativo menor que 1:20.000, conforme Figura 54;
- Quando a base não pode ser medida na margem do rio, devemos medir a mesma em local mais afastado e aumentar a triangulação e a precisão das medidas, conforme Figura 55;
- Quando as condições do terreno permitirem a medida de duas bases, uma em cada margem, podemos utilizar o esquema apresentado na Figura 56;
- Dependendo da situação é possível realizar a triangulação com ponto de apoio interno (ilha), como mostrado na Figura 57.

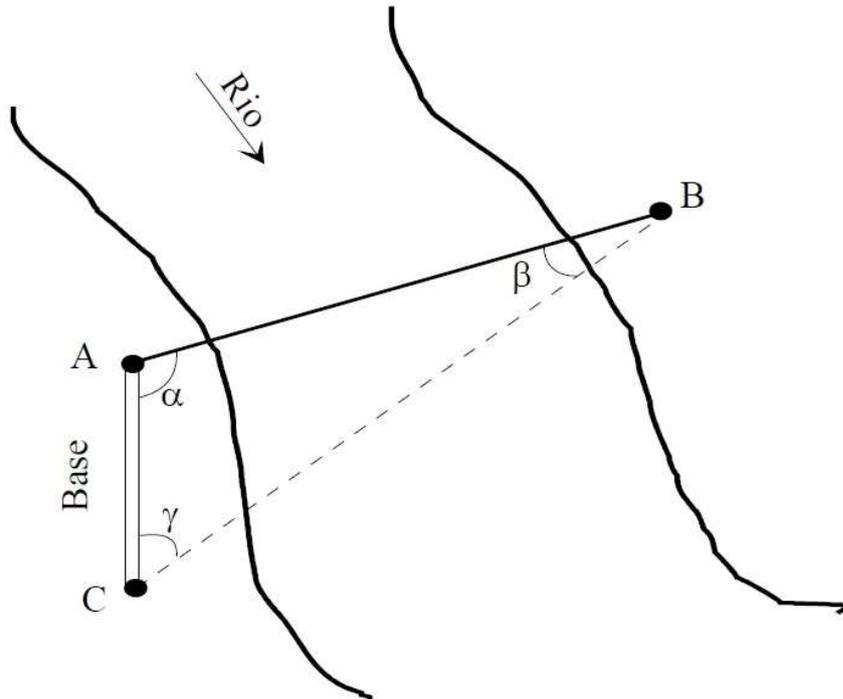


Figura 54: Locação do eixo de uma ponte com base próxima a margem.
Fonte: Corrêa (2012).

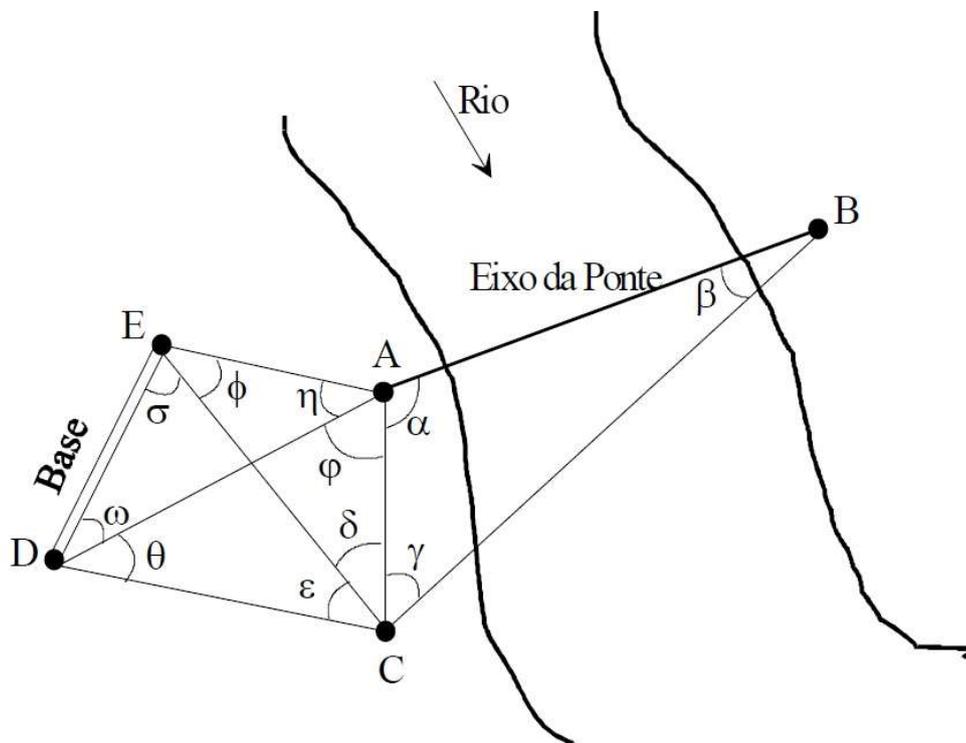


Figura 55: Locação do eixo de uma ponte com base afastada.
Fonte: Corrêa (2012).

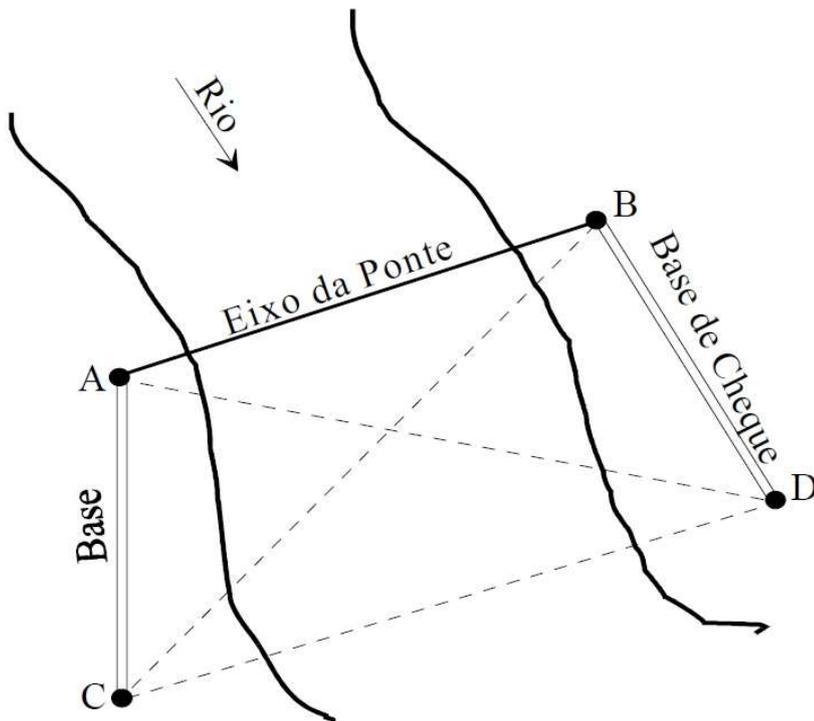


Figura 56: Locação do eixo de uma ponte com duas bases.
Fonte: Corrêa (2012).

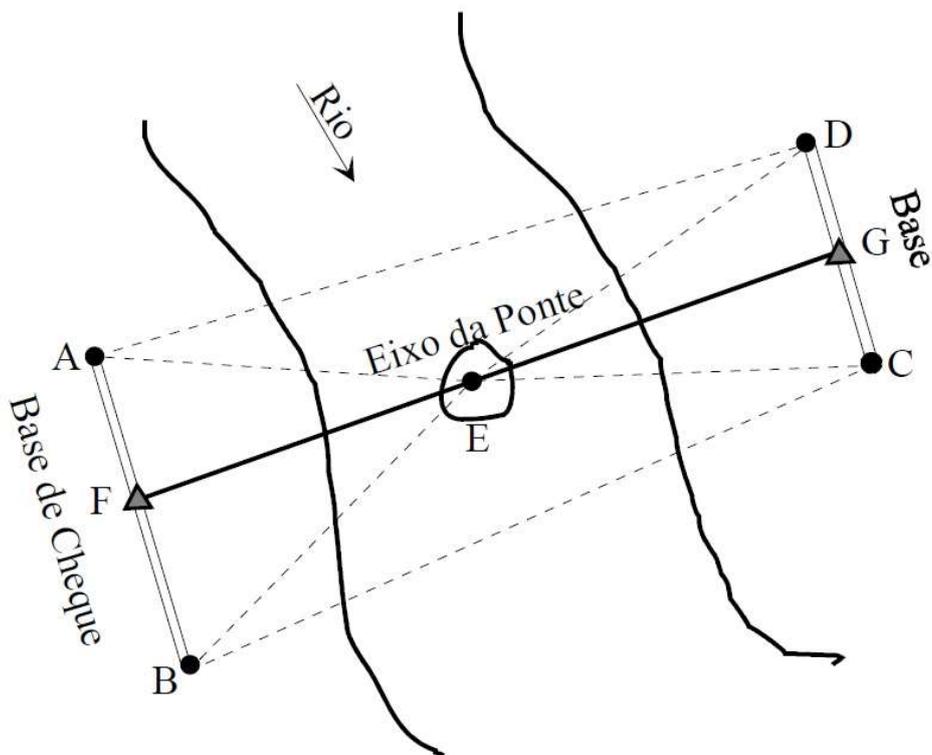


Figura 57: Locação do eixo de uma ponte com ponto central de apoio.
Fonte: Corrêa (2012).



Sobre locação de pilares em ponte utilizando o método de intersecção, consultar Corrêa (2012).

10.4 Locação de Estradas

Em um projeto de estradas o reconhecimento da região é a primeira fase da escolha do traçado, na qual são detectados os principais obstáculos topográficos, geológicos, hidrológicos e são determinados os locais para o lançamento de anteprojetos.

Após esta fase são realizados os projetos finais onde são gerados os perfis longitudinais, as seções transversais e as tabelas de locação do projeto com o auxílio dos dados topográficos levantados em campo.

A locação propriamente dita é a implantação de marcas no terreno, através de piquetes, para lançar o traçado da poligonal escolhida. A poligonal levantada na fase de exploração recebe a denominação de Eixo de Exploração ou Poligonal de Exploração e não é necessariamente igual à estabelecida na fase de reconhecimento, pois pode-se encontrar uma mais indicada e ligeiramente afastada da anterior. Esta etapa compreende três operações distintas:

- Lançamento e estaqueamento da poligonal de exploração;
- Nivelamento e contranivelamento desta poligonal;
- Levantamento das seções transversais.

Após a locação dos eixos os *offsets* da estrada devem ser verificados, através do nivelamento dos piquetes correspondentes com o uso de RN. Medem-se as distâncias entre os *offsets* e o eixo da estrada e, havendo discrepância entre esse resultado e o especificado no projeto, a marcação deve ser repetida e novamente verificada.



11. CÁLCULO DE ÁREAS E VOLUMES

Conforme Tuler e Saraiva (2014) a medição de área plana, ou projetada horizontalmente, de uma localidade é importante para a maioria dos problemas de engenharia, principalmente, quando envolve estudos de custos e orçamentos. De acordo com os autores as técnicas geométricas e analíticas para quantificar áreas e volumes são relativamente simples, porém, muito custosas quando realizadas manualmente.

Porém, de acordo com Silva e Segantine (2015), em muitos casos de projetos de engenharia civil é necessário realizar movimentos de terra, exigindo operações ou cortes e/ou aterros de porções determinadas do terreno. O movimento de terra, neste caso, se caracteriza pelo volume de terra a ser deslocado da área do projeto para uma área de empréstimo para a área do projeto.

Para calcular volumes em determinada região, entretanto, primeiro devem ser aplicados os cálculos de áreas desta região. Entre as aplicações para a determinação da área pode-se citar:

Construção de loteamentos e cadastro urbano: dimensionamento da quantidade de lotes, cálculo de impostos e indenizações, inventário e titulação de terras, áreas dos limites para o Georreferenciamento de imóveis rurais, delimitação das regiões impostas como Reserva Legal, delimitação e cadastro de lotes urbanos, etc.

Construção de vias urbanas e rurais: medição de áreas a serem desapropriadas e pagamento de indenizações, estimativas de volumes de materiais para construção de cortes e aterros, análise de custos para transporte de material de corte e aterro (terraplenagem), previsão de tempo para execução da obra em função do volume a ser retirado ou depositado, cálculo de volumes de material para pavimentos (asfalto ou concreto) em função da área e espessura de cada camada, etc.

Construção de barragens, canais e hidrovias: medição de áreas a serem desapropriadas, determinação da área e volume de bacias hidrográficas, avaliação da capacidade hídrica do reservatório, dimensionamento da altura da barragem, cálculo de volumes de materiais, por meio da área de perfis de sondagem batimétrica, estimativas de volume para predição do tempo e de custos entre dragagens de um canal, etc.

Edificações e obras em geral: construção de estacionamentos, pátios para depósitos em geral, regiões de manobras para implantação de sistemas de transportes em geral, dimensionamento da capacidade de aterros sanitários, etc.

Agricultura, engenharia agrícola e florestal: dimensionamento da área de lavouras, cálculo de área de bacias de acumulação,



dimensionamento de projetos de irrigação e drenagem, previsão e controle de safras, etc.

Transportes e logística: dimensionamento de pátios de armazenagem, distribuição dos locais em função do volume dos equipamentos, regiões de manobra, etc.

Construção de túneis e mineração: avaliação de jazidas (áreas e volumes), análise de custo de transporte de material, demarcação das frentes de lavra, dimensionamento de pátios de estocagem, cálculo de volumes de bacias de sedimentação, cálculo de volume de desmonte de maciços rochosos, etc. (TULER E SARAIVA, 2014).

Conforme Tuler e Saraiva (2014) os procedimentos para determinação de uma área normalmente aplicados são: diretamente por meio das coordenadas dos pontos obtidas pelas medições, sendo a área calculada analiticamente (sendo este método mais preciso) e; indiretamente, por meio de desenho da região (gráficos) de interesse, com aplicação da escala em questão, sendo que a precisão é relacionada a escala de representação.

De acordo com Silva e Segantine (2015) os métodos de cálculo de áreas podem ser classificados em geométricos (gráficos), analíticos e mecânicos. O método geométrico é baseado na divisão da superfície cuja área se deseja calcular, em figuras geométricas elementares, tais como triângulos, retângulos ou trapézios, com formulações simples e bem conhecidas. No método analítico são utilizados os dados do levantamento de campo (direção e distâncias), ou as coordenadas conhecidas dos vértices do polígono representativo da superfície para o cálculo da área. Já o método mecânico se vale de um instrumento chamado planímetro para avaliar as áreas de uma superfície plana limitada por uma linha de contorno qualquer desenhada com uma escala conhecida.

Para cálculo de volume existem quatro métodos utilizados em engenharia civil: a partir da seção transversal do terreno; a partir de troncos de prismas de pontos cotados; a partir de superfícies geradas por curvas de nível; a partir de modelos numéricos de terreno (SILVA E SEGANTINE, 2015).

Nesta apostila não serão descritos todos os métodos de cálculo de áreas, somente o método de Gauss. Mais detalhes dos demais métodos consultar Silva e Segantine (2015) e Tuler e Saraiva (2014).

11.1 Cálculo de áreas pela fórmula de Gauss

Conforme Tuler e Saraiva (2015) é possível realizar o cálculo por processo analítico da área de uma poligonal conhecendo as coordenadas absolutas e relativas dos vértices, ou somente as absolutas. Para isso aplica-se a fórmula de Gauss para cálculo de áreas, com base na fórmula do trapézio. Esse método é considerado o mais preciso para cálculo de áreas de poligonais topográficas. Ver Figura 58.

Para ver outros métodos analíticos para cálculo de áreas, como, por exemplo, área a partir de triângulos radiais ou levantamento por coordenadas polares, consultar Silva e Segantine (2015).

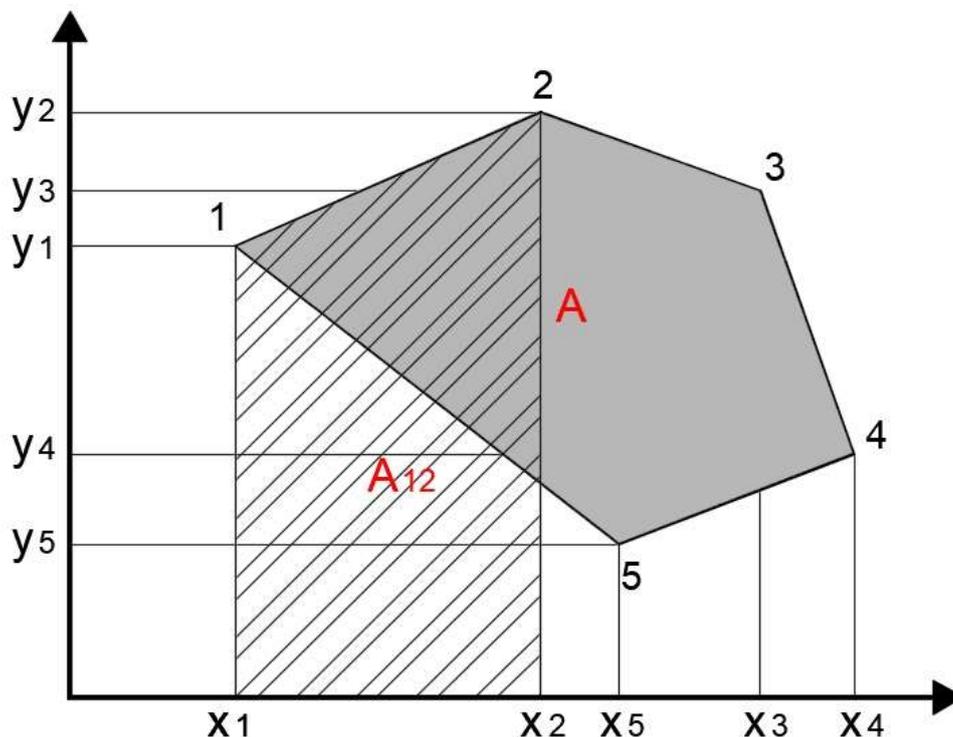


Figura 58: Trapézios para o cálculo de área pelo Método de Gauss.

Desta forma, de acordo com Silva e Segantine (2015), considerando o polígono indicado na Figura 58, a área do trapézio A_{12} , que contém o lado 1-2 da poligonal, é dada pela equação abaixo:



$$A_{12} = [(y_1 + y_2) / 2] * (x_2 - x_1)$$

Se forem considerados todos os lados, obtém-se:

$$A = \{[(y_1 + y_2) / 2] * (x_2 - x_1)\} + \{[(y_2 + y_3) / 2] * (x_3 - x_2)\} + \{[(y_3 + y_4) / 2] * (x_4 - x_3)\} + \{[(y_4 + y_5) / 2] * (x_5 - x_4)\} + \{[(y_5 + y_1) / 2] * (x_1 - x_5)\}$$

Que ao ser generalizada transforma-se em:

$$A = \frac{1}{2} \sum x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

A soma binária das ordenadas absolutas pelas abcissas relativas corrigidas será igual a duas vezes a área do polígono (dupla área). Da mesma forma ocorreria se fosse considerado o outro eixo da projeção que teria a soma binária das abcissas absolutas pelas ordenadas relativas. Os programas CAD utilizam este método para o cálculo de áreas de polígonos irregulares mesmo para aqueles com lados curvos, os quais são subdivididos em segmentos de retas.

Outra maneira de calcular a área de um polígono com coordenadas conhecidas é a partir da regra mnemônica, que consiste em calcular a soma algébrica dos produtos cruzados das coordenadas retangulares dos vértices do polígono e dividi-los por 2, conforme o exemplo aplicativo retirado de Silva e Segantine (2015) e os dados da Tabela 01.

Tabela 01: Coordenadas dos vértices de uma poligonal.

Vértice	Coordenadas Retangulares	
	X (m)	Y (m)
1	7453,743	12743,125
2	8105,479	11360,951
3	7019,484	10794,624
4	6676,216	11633,531

Fonte: Adaptado de Silva e Segantine (2015).

A partir dos dados da Tabela 01 é realizado um cálculo matricial, onde devem ser repetidas as coordenadas do primeiro vértice da poligonal na sequência, de forma a fechar o polígono, conforme apresentado no Quadro 13, onde, primeiramente, cada abcissa da linha (x) deve ser multiplicada por cada ordenada (y) da linha seguinte, formando uma primeira soma, e logo a seguir cada



ordenada (y) deve ser multiplicada por cada abcissa (x) da linha seguinte, também formando uma soma que deve ser subtraída da primeira soma. A convenção de sinais normalmente considera os produtos descendentes positivos e os ascendentes negativos.

Quadro 13: Coordenadas dos vértices de uma poligonal.

Vértice	Coordenadas Retangulares	
1	X1	Y1
2	X2	Y2
3	X3	Y3
4	X4	Y4
1	X1	Y1

Fonte: Adaptado de Silva e Segantine (2015).

Com os dados do exemplo aplicativo da Tabela 01 tem-se:

$$\sum \text{produtos descendentes} = 338.914.446,867 \text{ m}^2$$

$$\sum \text{produtos ascendentes} = - 341.817.737,570 \text{ m}^2$$

Realizando a soma algébrica dos valores acima e dividindo –a por 2, obtém-se o valor para a área calculada, neste caso:

$$\text{Área} = 1.451.645,35 \text{ m}^2 = 145,165 \text{ há}$$

11.2 Cálculo de Volumes a partir de seções transversais do terreno

De acordo com Silva e Segantine (2015) este método é usado para calcular movimentos de terra em projetos de predominância linear, como rodovias, ferrovias e canais, por exemplo, onde o movimento de terra é realizado em função das seções transversais dos cortes e dos aterros que serão realizados no terreno para adequar a superfície do projeto ao terreno natural. Este cálculo é realizado considerando as áreas das seções transversais do eixo da via projetada, espaçadas em distâncias regulares, geralmente a cada 20 metros.



11.2.1 Método da formula trapezoidal ou Método de Bezout

Para calcular volumes em projetos de rodovias, diques, canais e outros tipos de obras de predominância linear, que requerem movimento de terra, o método mais simples consiste em multiplicar o comprimento do trecho entre duas seções pela média das áreas, conforme equação a seguir:

$$V = (1 / 2) d * [(A_1+ A_2) + (A_2+ A_3) + (A_3+ A_4) ++ (A_{n-1}+ A_n)]$$

Sendo:

V = volume do trecho entre as seções

d = comprimento do trecho entre as seções

A_i = área da seção transversal (i)

No caso de haver várias seções, o volume total é calculado pelo somatório dos volumes parciais gerados. A qualidade do resultado deste método depende dos tipos de seções envolvidas. Em geral, de acordo com Silva e Segantine (2015), o resultado obtido é maior do que o volume real de corte e aterro existente no trecho total considerado, conforme pode ser observado na Figura 59.

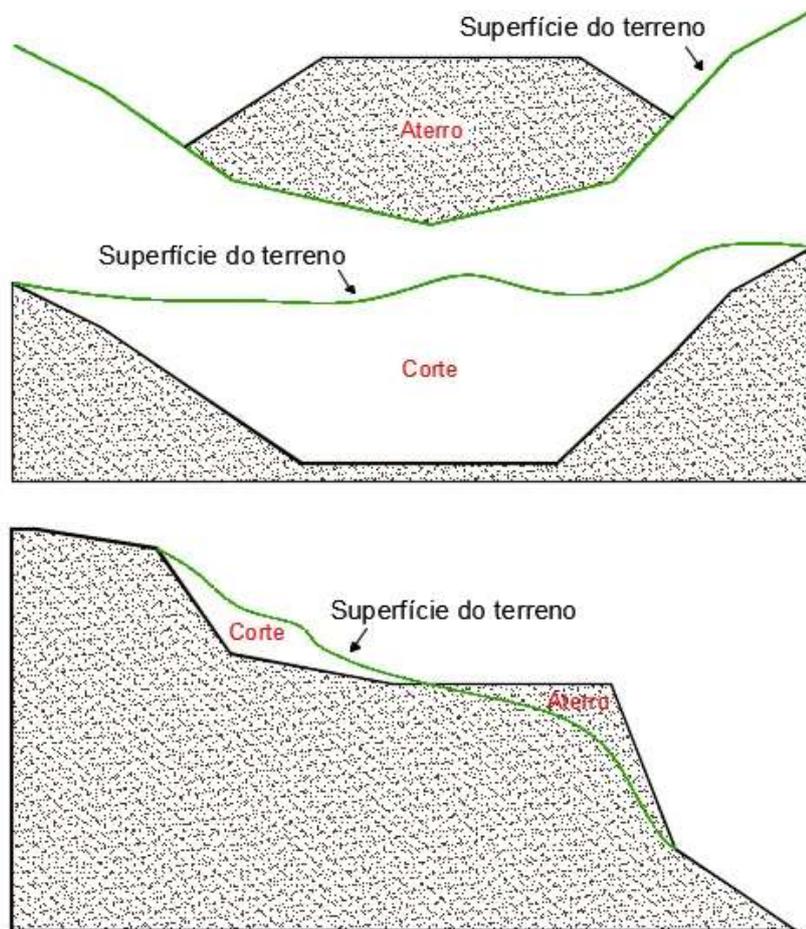


Figura 59: Seções transversais de corte e aterro.

11.2.2 Método da fórmula prismoidal ou Regra de Simpson

Outra maneira de calcular o volume do movimento de terra, conforme Silva e Segantine (2015), é considerar as seções sucessivas, duas a duas, e calcular o volume do prisma formado por elas adotando um peso igual a 4 para a seção intermediária (A_m). O volume do prisma assim obtido pode ser calculado pela equação indicada a seguir:

$$V = (d/6) * (A_1 + 4A_m + A_2)$$

Considerando todas as seções de forma que a quantidade de seções seja um valor ímpar, o volume final pode ser calculado pela equação indicada a seguir:

$$V = (d/3) * (A_1 + 4A_n + 2A_3 + 4A_4 + A_5)$$

A equação generalizada é dada por:

$$V = (d/3) * (A_1 + A_n + 4 \sum \text{áreas pares} + 2 \sum \text{áreas ímpares})$$

11.2.3 Cálculo de volume em trechos curvos

Para o caso de um trecho curvo, onde as seções transversais não são paralelas entre si e o cálculo de volume deverá, portanto, considerar o raio da curva. Conforme Silva e Segantine (2015), a solução empregada, neste caso, considera que o volume de uma seção constante, se deslocando sobre um eixo curvo, é igual à área dessa seção multiplicada pela distância percorrida sobre o eixo do centro de gravidade da seção. Assim, ao invés de usar o eixo do alinhamento, deve-se usar o eixo do centro de gravidade da seção, conforme indicado na Figura 60.

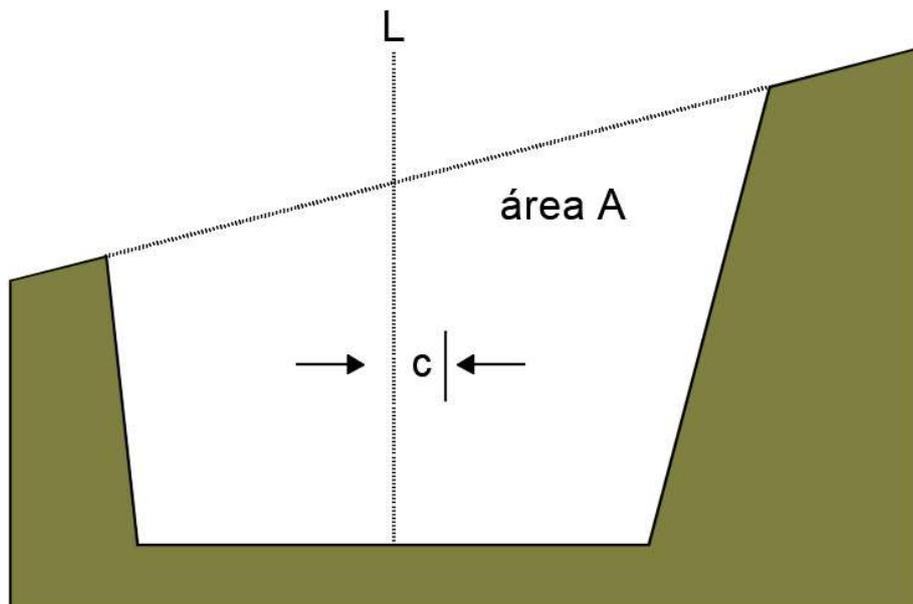


Figura 60: Seção transversal com centro de gravidade deslocado.

Desta forma, considerando que o eixo de gravidade está deslocado de uma distância (c) do eixo geométrico do alinhamento, tem-se a condição geométrica indicada na Figura 59. O cálculo do volume, neste caso, é dado pela equação abaixo:

$$V = A * \theta * (R + c)$$



Sendo:

V = volume do trecho considerado

A = área da seção transversal

R = raio da curva

c = excentricidade do centro de gravidade

θ = ângulo no centro da curva (em radianos)

Considerando L como sendo o desenvolvimento da curva, tem-se:

$$\theta = L / R$$

As duas equações formam:

$$V = [L * A * (R + c)] / R = L * [A + (A * c) / R] = L * A * [1 + (c / R)]$$

Nota-se que para o cálculo do volume de um trecho curvo basta corrigir a área da seção transversal pelo coeficiente $+ - [1 + (c / R)]$, onde o sinal $+ -$ depende do lado em que se encontra a excentricidade.

11.3 Cálculo de volume a partir de troncos de prismas de pontos cotados

Este método é utilizado para calcular movimentos de terra em projetos de superfície, como construção de edifícios, pátios e outros. De acordo com Silva e Segantine (2015) nos projetos baseados em superfícies extensas, em que o movimento de terra ocorrerá em função dos cortes e aterros no terreno, o cálculo do volume pode ser realizado subdividindo a área total em pequenos elementos quadrangulares ou triangulares, conforme visto no capítulo 4, e calculando o volume do prisma formado por cada elemento, conforme ilustrado na Figura 61, onde o cálculo é realizado a partir da cota/altitude de 5 metros. O volume de cada prisma é calculado considerando a altura média dos vértices do prisma e a área

de base e o método de cálculo a ser aplicado dependerá do tipo de distribuição dos pontos cotados, regular ou irregular.

Volume do prisma = altura média * área de base

A equação aplicada ao exemplo da Figura 60 resulta em:

$$V = [(3,985 \text{ m} + 2,138 \text{ m} + 2,321 \text{ m} + 2,369 \text{ m}) / 4] * (10 \text{ m} * 10 \text{ m})$$

$$V = 2,702 \text{ m} * 100 \text{ m}^2$$

$$V = 270,23 \text{ m}^3$$

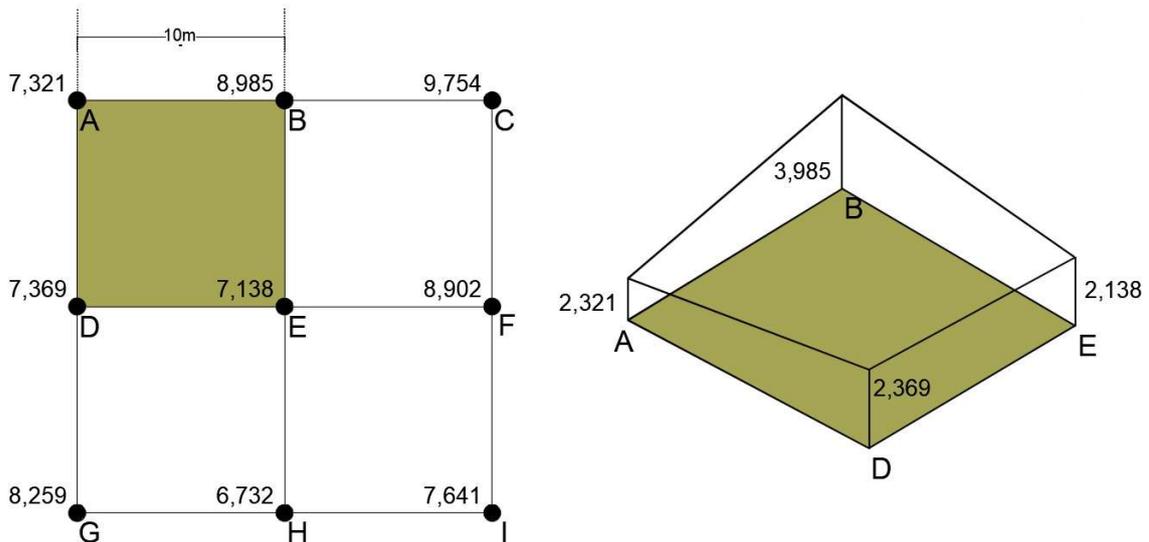


Figura 61: Volume de um prisma quadrangular.

11.4 Cálculo de volume a partir de superfícies geradas por curvas de nível

Existem casos em que o volume pode ser calculado em função dos sólidos formados por áreas compreendidas por curvas de nível sucessivas de uma determinada superfície (SILVA E SEGANTINE, 2015). Nestes casos, considera-se o problema como um caso especial de cálculo de volume a partir de seções transversais, considerando as superfícies compreendidas entre duas curvas de nível como seções transversais horizontais. O valor da distância (d), neste caso, deve ser substituído pelo valor da equidistância vertical (EV) entre as curvas de nível e o cálculo do volume pode ser realizado empregando-se qualquer uma das



duas formulações apresentadas no item 11.2. Este método é usado para calcular volumes de reservatórios. A formulação utilizada é a seguinte:

$$V = EV * \{ [(A_n + A_{n-1}) / 2] + [(A_{n-1} + A_{n-2}) / 2] + \dots \}$$

Onde é A_i é a área correspondente a cada curva de nível que se deseja calcular o volume.

Salientam os autores que, por se tratar de curvas de nível, poderá resultar um sólido residual acima ou abaixo da última curva de nível, que não pode ser incluído no cálculo a partir de seções transversais. Propõe-se, neste caso, que ele seja calculado separadamente aplicando-se o método de cálculo de volume mais adequado a sua conformação geométrica.

11.5 Cálculo de volume a partir de modelos digitais de terreno

Os aplicativos disponíveis para o cálculo de volumes a partir de modelos digitais de terreno (MDT) se baseiam, essencialmente, no cálculo de volume a partir de tronco de prismas. Alguns programas aplicativos interpolam uma malha regular de pontos sobre a região em que se deseja calcular o volume, outros utilizam a rede irregular de triângulos. No caso de a aplicação ser em rodovias e ferrovias, o cálculo é realizado a partir de seções transversais. Os resultados geralmente são diferentes e o usuário deve verificar qual método produz melhor resultado em função do programa aplicativo disponível. Para ver detalhes destes métodos consultar Silva e Segantine (2015).

11.6 Cota ou Altitude de passagem

Conforme Silva e Segantine (2015) em determinados casos de terraplenagem de plataformas, pode ocorrer de se buscar o equilíbrio entre o volume de corte e o volume de aterro, ou seja, a quantidade de terra a ser escavada no terreno deve ser igual à quantidade a ser aterrada, conforme indicado na Figura 62, onde são apresentadas as áreas: de terreno natural; áreas onde ocorrerão as obras de terraplenagem e a área do terreno como ficará depois de terraplenada (superfície plana neste caso). Haverá, portanto, uma cota/altitude

para a qual o volume de corte será igual ao volume de aterro, a qual é denominada altitude ou cota de passagem (C_p).

Para o cálculo da cota de passagem, deve-se antes quadrangular a área a ser terraplenada e calcular as altitudes dos vértices de cada quadrícula (ver capítulo 4). Para o caso de lotes urbanos, muitas vezes são utilizadas quadrículas com lados iguais ou inferiores a 5 metros.

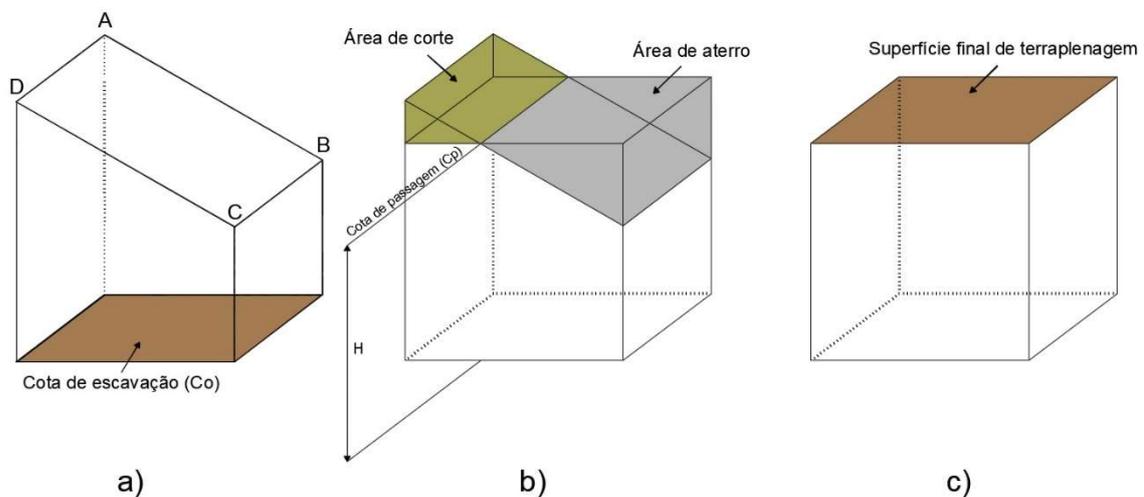


Figura 62: Determinação da cota ou altitude de passagem.

Considerando a Figura 62, o problema consiste em calcular a Cota de passagem de forma que o volume do sólido ABCD da Figura 62 (a) seja igual ao volume do sólido da Figura 62 (c). É necessário adotar uma altitude de corte (C_o) e calcular o volume de corte (V_o) acima desta altitude. O cálculo do volume é feito a partir da média das alturas de todos os vértices do prisma considerado. Desta forma, a altura média somada ao valor da altitude de corte (C_o) indica o valor da cota de passagem. Assim:

$$V_T = A_T \cdot H \text{ ou } H = V_T / A_T$$

$$C_p = C_o + H \text{ ou } C_p = C_o + (V_T / A_T)$$

Em seguida a cota de passagem calculada pode ser traçada no terreno indicando os pontos de altitudes iguais a (C_p), conforme indica a Figura 63.

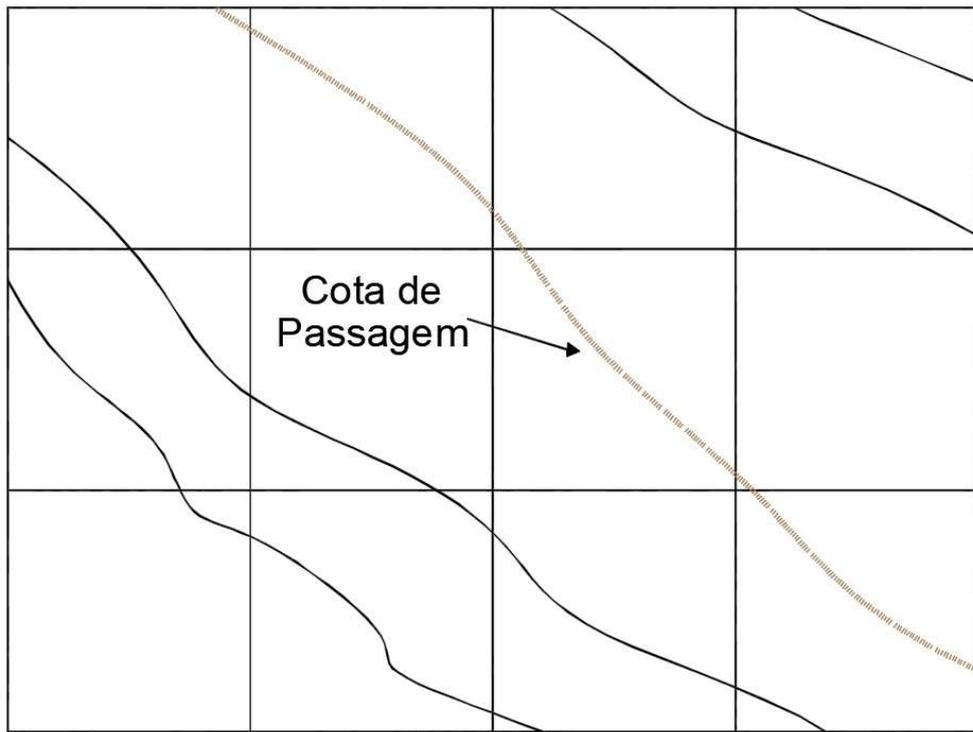


Figura 63: Representação da cota ou altitude de passagem.

O cálculo do volume de corte e aterro pode ser realizado aplicando-se o método do cálculo do volume a partir de seções transversais ou o método de cálculo de volume a partir de tronco de prismas, conforme já indicado nos itens 11.2 e 11.3.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

ALVES, Fabiana Santos. **Análise do comportamento estrutural de um conjunto de edifícios construídos com alvenaria resistente submetidos à ação de recalques**. Recife: O autor, 2006.

ARAGÃO, Leandro Moura. **Plano de monitoramento de recalque de fundações do bloco ateliê do curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal do Ceará**. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

ARANA, J. M. **O uso do GPS na elaboração de carta geoidal**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico: procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BRASIL. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas**. Brasília: Agência Nacional de Águas (ANA), 2011.

CASTRO, A. L. P. **Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2002.

COMASTRI, J. A.; TULER, J. C. **Topografia: altimetria**. 2º Ed. Viçosa: UFV, 1987.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. 13ª Edição. Porto Alegre: Departamento de Geodésia (IG/UFRGS), 2012. Disponível em:

https://www.ufpe.br/documents/801160/801815/TopoAplicada_2012.pdf/67be741f-ab27-4268-b707-8f356f804d5d.

CORSEUIL, C. W.; ROBAINA, A. D. Determinação altimétrica através do sistema de posicionamento global. **Ciência Rural**: Santa Maria, 2003.

DOTORI, M.; NEGRAES, R. **GPS: Global Positioning System**. São Paulo: Fitipaldi, 1997.

ESPARTEL, Lelis. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Globo, 1965.

GAGG, Gilberto. **Levantamentos Hidrográficos – Noções Gerais**. Porto Alegre: Departamento de Geodésia (IG/UFRGS), 2012.

GEMAEL, Camil. **Introdução a Geodésia Física**. Curitiba: UFPR, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Home page**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/institucional/o-ibge.html>. Acesso em julho de 2020.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Recomendações para levantamentos relativos estáticos: GPS, de abril de 2008.** Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** São Jose dos Campos: Parenteses, 2011.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2º Ed. Presidente Prudente: UNESP, 2008.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** Presidente Prudente: UNESP, 2000.

ROSENFELDT, Y.A.Z. **Medição e Monitoramento de recalques em obras de engenharia: Equipamentos e procedimentos operacionais usando topografia e/ou geodesia.** Florianópolis: Notas de aula, 2019.

SANTOS, D. P. **Avaliação do uso do nivelamento trigonométrico no transporte de altitudes para regiões de difícil acesso.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

SILVA, Irineu da; SEGANTINE, Paulo Cesar Lima. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, Jorge Luis Barbosa da. **Nivelamento Trigonométrico.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. Disponível em: www.ufrgs.br/igeo/departamentos/.../Nivelamento_Trigonometrico.pdf.

SOBEL, D. **Longitude: a verdadeira história de um gênio solitário que resolveu o maior problema científico do Século XVIII.** Rio de Janeiro: Ediouro, 1996.

SUBSEAWORLDNEWS. Home Page. Disponível em <http://subseaworldnews.com/2014/10/03/eolienplans-owfs-seabed-clearance-off-france/>. Acesso em julho de 2020.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de geodésia e cartografia.** Porto Alegre: Bookman, 2016.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de topografia.** Porto Alegre: Bookman, 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Acervo topografia.** Campinas: UNICAMP, 2020. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~museuLTG/topo.htm>.

ZIMMERMANN, Cláudio Cesar. **Apostila de Topografia.** 3º Edição. Programa de Educação Tutorial do Curso de Engenharia Civil (PET/ECV/UFSC): Florianópolis, 2019. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/downloads/>.

ZONTA, G. **Implantação de um Benchmark.** Disponível em: <https://prezi.com/nl90dryvnsbt/implantacao-de-um-benchmark/>. Acesso em: 28/08/2020.