

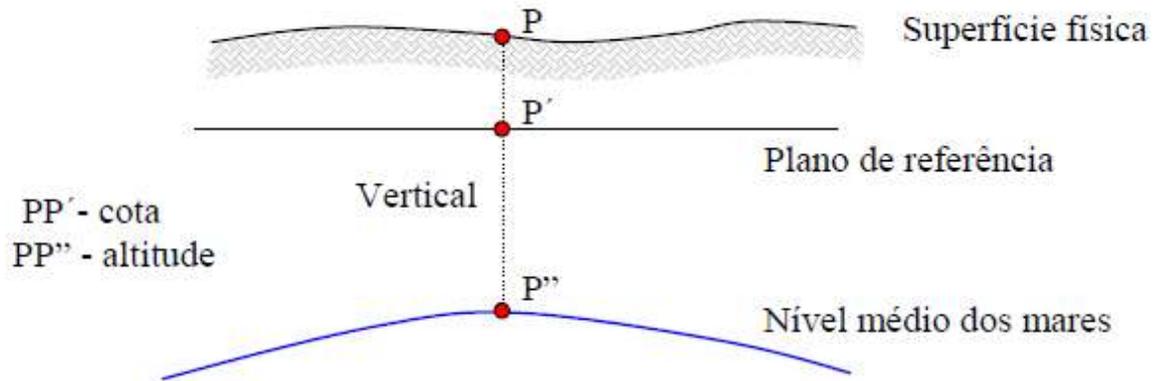
## MÉTODOS PARA EXECUÇÃO DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS ALTIMÉTRICOS. (PROF. ENOQUE)

A determinação da cota ou altitude de um ponto é uma atividade fundamental em diversas atividades, principalmente na engenharia. Projetos como redes de esgoto, estradas, planejamento urbano, sistematização de terrenos, entre outros, são exemplos de aplicações que utilizam estas informações. A determinação do valor da cota ou altitude está baseada em métodos que permitem obter o desnível entre pontos. Conhecendo-se um valor de referência inicial é possível calcular as demais cotas ou altitudes. Estes métodos são denominados de nivelamento. Existem diferentes métodos que permitem determinar os desníveis, com precisões que variam de alguns centímetros até sub-milímetro. A aplicação de cada um deles dependerá da finalidade do trabalho.

Como qualquer outra atividade, o planejamento tem enorme importância para a geração de um produto confiável, com ótima relação entre o custo e benefício. O procedimento para um levantamento altimétrico deve iniciar com o reconhecimento do terreno, onde se define os locais para instalação de equipamento e pontos a ser determinados os desníveis. A organização da equipe de trabalho (operador e auxiliar), aferição do instrumento e verificação dos acessórios indispensáveis (estaca, piquete, marreta, água, etc.) também são cruciais. Após tal conferência inicia-se o levantamento da poligonal planejada e, se necessário, das seções transversais. Por fim, efetua-se cálculo das cotas (ou altitudes), procedendo à verificação e distribuição de erros, fornecendo os elementos corrigidos e, finalizando com a confecção do produto, ou seja, o desenho do perfil do terreno e greide. Pode-se utilizar para tal representação as cotas ou altitudes, ao qual são definidas como:

**Cota:** é a distância medida ao longo da vertical de um ponto até um plano de referência arbitrário.

**Altitude ortométrica:** é a distância medida na vertical entre um ponto da superfície física da Terra e a superfície de referência altimétrica (nível médio dos mares).



**Figura 12.1 – Cota e Altitude.**

As altitudes no Brasil são determinadas a partir da Rede Altimétrica Brasileira, estabelecida e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esta é um exemplo de rede vertical, que pode ser definida como um conjunto de pontos materializados no terreno, denominados de referências de nível - RN e identificados por uma coordenada planimétrica e sua altitude, determinada a partir de um ponto origem do datum vertical.

No Brasil, o datum altimétrico é o ponto associado com o nível médio do mar (NMM) determinado pelo marógrafo de Imbituba, Santa Catarina.

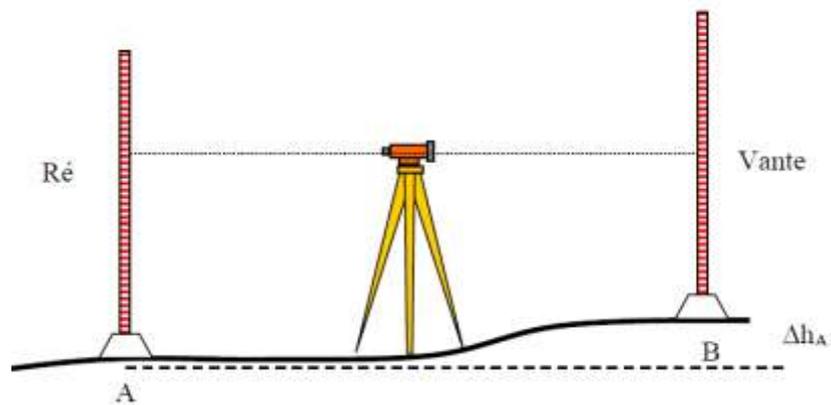
conceito de Nivelamento: Dá-se o nome de **nivelamento** à determinação do relevo de um terreno, obtendo-se, através de processos específicos, as altitudes, as cotas ou as diferenças de altitudes ou de cotas, dos diversos pontos do terreno. É da ordem de precisão:

- ✚ O Comitê Federal de Controle Geodésico estabeleceu um conjunto de padrões de acurácia (padrões de precisão) para controle dos levantamentos horizontais e verticais. Normalmente os levantamentos são especificados como de primeira, segunda e terceira ordem. Cálculo do erro tolerável e fórmula do erro.

O levantamento topográfico altimétrico objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhe, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada. Embora tenhamos os métodos de nivelamento geométrico, trigonométrico, taqueométrico e barométrico, basicamente três destes são empregados para a determinação dos

desníveis, sendo o nivelamento geométrico, trigonométrico e taqueométrico. Define-se como:

- ✓ Nivelamento geométrico ou nivelamento direto é o nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre pontos no terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos. ABNT (1994)



- ✓ Nivelamento trigonométrico é o nivelamento que realiza a medição da diferença de nível entre pontos no terreno, indiretamente, a partir da determinação do ângulo vertical da direção que os une e da distância entre estes, fundamentando-se na relação trigonométrica entre o ângulo e a distância medidos, levando em consideração a altura do centro do limbo vertical do teodolito ao terreno e a altura sobre o terreno do sinal visado. ABNT (1994, p.4).p3).

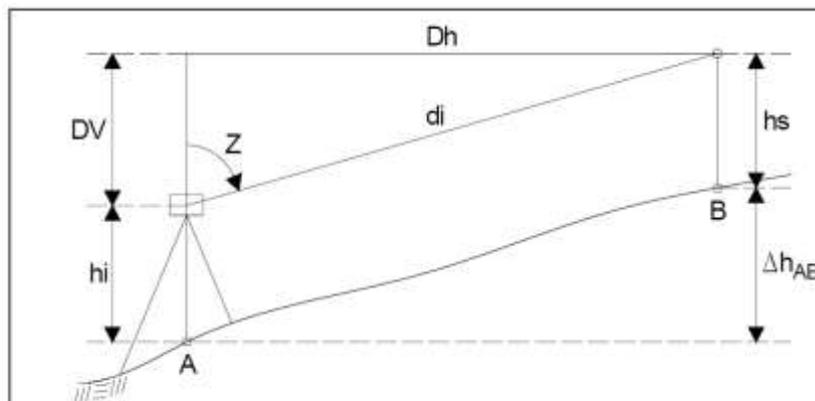


Figura 12.36 – Nivelamento Trigonométrico.

- ✓ Nivelamento taqueométrico é o nivelamento trigonométrico em que as distâncias são obtidas taqueometricamente e a altura do sinal visado é obtida pela visada do fio médio do retículo da luneta do teodolito sobre uma mira colocada verticalmente no ponto cuja diferença de nível em relação à estação do teodolito é objeto de determinação. ABNT (1994, p.4).

Independente do método a ser empregado em campo, durante um levantamento altimétrico destinado a obtenção de altitudes ou cotas para representação do terreno, a escolha dos pontos é fundamental para a melhor representação do mesmo. Todos os métodos com figura ilustrativa

O nivelamento geométrico é a operação que visa à determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras (estádias ou em código de barras) efetuadas com níveis ópticos ou digitais. Este pode ser executado para fins geodésicos ou topográficos. A diferença entre ambos está na precisão (maior no caso do nivelamento para fins geodésicos) e no instrumental utilizado. Nesse método são utilizados os níveis, que consistem em equipamentos que permitem definir com precisão um plano horizontal ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do equipamento e podem ser classificados em ópticos e digitais, sendo que para este último a leitura na mira é efetuada automaticamente empregando miras em código de barra. Os níveis ópticos podem ainda ser classificados em mecânicos e automáticos. Se mecânico, o nivelamento "fino ou calagem" do equipamento é realizado com o auxílio de níveis de bolha bipartida. Nos modelos automáticos a linha de visada é nivelada automaticamente, dentro de certo limite, utilizando-se um sistema compensador (pendular). Os equipamentos são classificados segundo a NBR 13133 através do desvio-padrão encontrado em 1 km de duplo nivelamento.

É possível dividir o nivelamento geométrico em quatro métodos: visadas iguais, visadas extremas, visadas recíprocas e visadas equidistantes. O método das visadas iguais é o método mais preciso e de larga aplicação em engenharia. Consiste em utilizar duas miras, colocadas à mesma distância do nível, sobre os pontos que se deseja determinar o desnível, sendo então efetuadas as leituras. É um processo bastante simples, onde o desnível será determinado pela diferença entre a leitura de ré e a de vante.

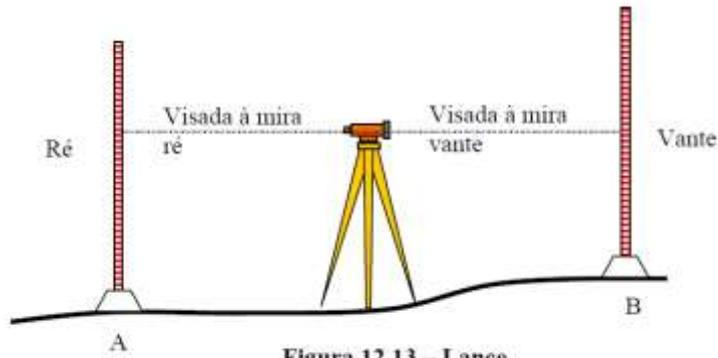
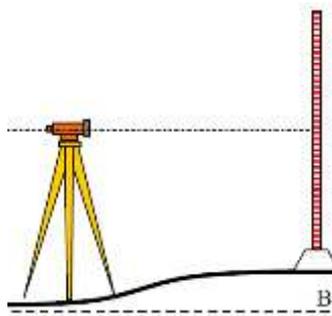


Figura 12.13 – Lance.

É importante salientar que, mesmo com a necessidade do nível estar a igual distância entre as miras não implica necessariamente que o mesmo deva estar alinhado entre elas. Uma vantagem é que neste procedimento o desnível independe da altura do nível e assim é possível observar que, ao mudar a altura do nível as leituras também se modificam, porém o desnível calculado permanece o mesmo. Outra vantagem deste método é a minimização de erros causados pela curvatura terrestre, refração atmosférica e colimação do nível. Cabe salientar que os dois primeiros erros (curvatura e refração) são significativos no nivelamento geométrico aplicado em Geodésia.

Alguns conceitos importantes para o nivelamento geométrico, a saber:

Visada: leitura efetuada sobre a mira.



Lance: é a medida direta do desnível entre duas miras verticais.

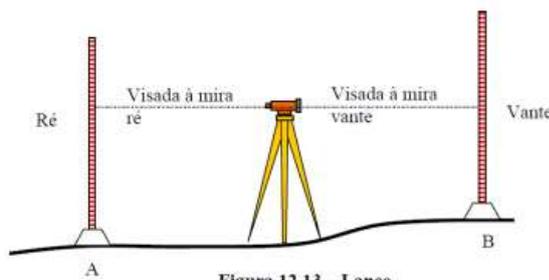


Figura 12.13 – Lance.

Seção: é a medida do desnível entre duas referências de nível e é obtida pela soma algébrica dos desníveis dos lances.

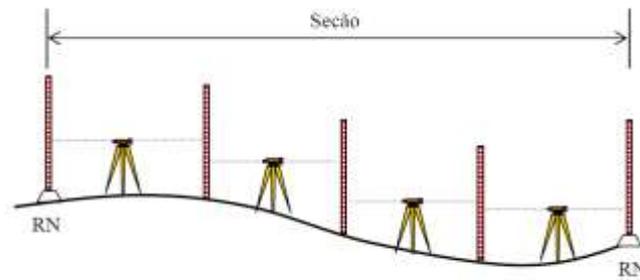


Figura 12.14 – Seção.

Linha de nivelamento: é o conjunto das seções compreendidas entre duas RN chamadas principais.

Circuito de nivelamento: é a poligonal fechada constituída de várias linhas justapostas. Pontos nodais são as RN principais, às quais concorrem duas ou mais linhas de nivelamento.

Rede de nivelamento: é a malha formada por vários circuitos justapostos.

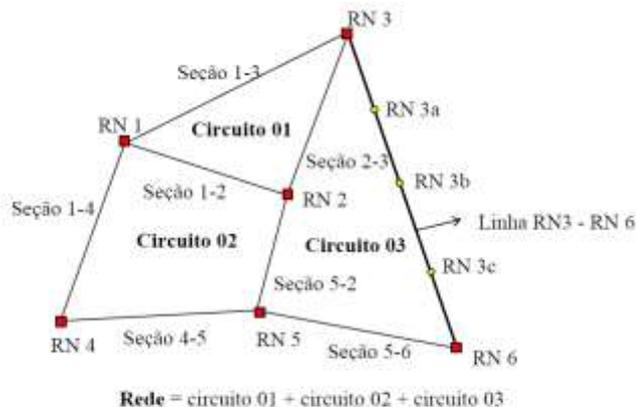


Figura 12.15 – Rede, circuito e linha de nivelamento.

O nivelamento geométrico poderá ser simples ou composto. No primeiro caso o desnível entre os pontos de interesse é determinado com apenas uma única instalação do equipamento, ou seja, um único lance. No nivelamento geométrico composto, o desnível entre os pontos será determinado a partir de vários lances, sendo o desnível final calculado pela somatória dos desníveis de cada lance. Para o caso do nivelamento geométrico composto um cuidado adicional deve ser tomado. Quando a mira de vante do lance anterior for reposicionada para a leitura do lance seguinte (neste caso passará então a ser a mira ré), deve-se tomar o cuidado de que esta permaneça sobre o mesmo ponto, para evitar erros na determinação do desnível. É possível empregar neste caso um equipamento denominado de sapata, sobre o qual a mira é apoiada. Esta é colocada no solo e permite o giro da mira sem causar deslocamentos na mesma. Em trabalhos

para fins topográficos não é comum o uso de sapatas, sendo que as mesmas são obrigatórias para a determinação de desníveis em Geodésia.

Cuidados devem ser tomados na execução do nivelamento, nesse caso é recomendado que:

*Os comprimentos das visadas de ré e de vante devem ser aproximadamente iguais e de, no máximo, 80 m, sendo o ideal o comprimento de 60m, de modo a compensar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica, além de melhorar a exatidão do levantamento por facilitar a leitura da mira.*

*Para evitar os efeitos do fenômeno de reverberação, as visadas devem situar-se acima de 50 cm do solo.*

*As miras devem ser posicionadas aos pares, com alternância a vante e a ré, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada, em seguida, no ponto de chegada (lida a vante), sendo conveniente que o número de lances seja par.*

O procedimento descrito anteriormente visa eliminar o chamado erro de índice. Este é definido como a distância entre a base inferior da mira até a primeira graduação da escala da mesma. Para eliminar este erro deve-se realizar um número par de lances para cada seção.

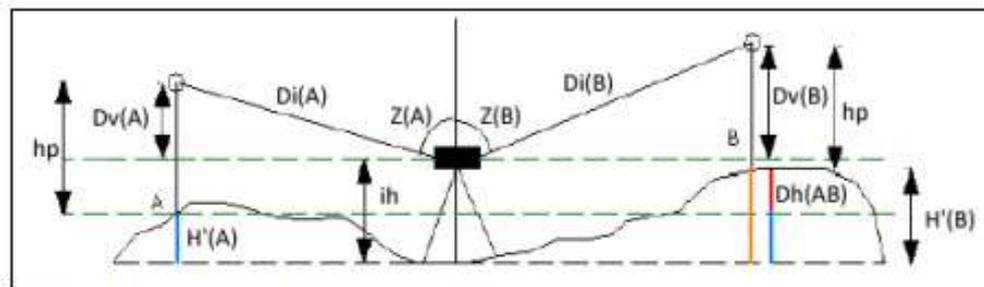
O método de nivelamento das visadas extremas consiste em determinar o desnível entre a posição do nível e da mira através do conhecimento da altura do nível e da leitura efetuada sobre a mira. É um método de nivelamento bastante aplicado na área da construção civil. A grande vantagem deste método é o rendimento apresentado, pois se instala o nível em uma posição e faz-se a varredura dos pontos que se deseja determinar as cotas, porém tem como inconveniente não eliminar os erros como curvatura, refração e colimação, além da necessidade de medir a altura do instrumento, o que pode introduzir um erro de 0,5 cm ou maior. Para evitar este último, costuma-se realizar uma visada de ré inicial sobre um ponto de cota conhecida, e desta forma determinar a altura do instrumento já no referencial altimétrico a ser utilizado. Em alguns casos pode ser necessário determinar a cota de pontos localizados na parte superior de uma estrutura e, neste caso, a única diferença é que a leitura efetuada com a mira nesta posição deve ser considerada negativa.

O método das visadas equidistantes consiste em um método de nivelamento geométrico onde se efetuam duas medidas para cada lance, o que permite eliminar os erros de colimação, curvatura e refração. A principal desvantagem deste método é a

morosidade do mesmo. Para que este método tenha sua validade é necessário que ao instalar o nível nas duas posições, tome-se o cuidado de deixar as distâncias sempre iguais (ou com uma diferença inferior a 2m). Uma das principais aplicações para este método é a travessia de obstáculos, como rios, terrenos alagadiços, depressões, rodovias movimentadas, etc.

O método das visadas recíprocas consiste em fazer a medida duas vezes para cada lance, sendo que diferentemente dos outros casos, o nível deverá estar estacionado sobre os pontos que definem o lance. Também são eliminados os erros de refração, colimação e esfericidade, porém não se elimina o erro provocado pela medição da altura do instrumento.

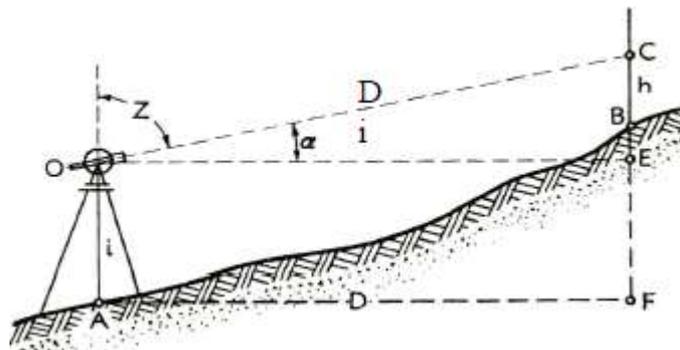
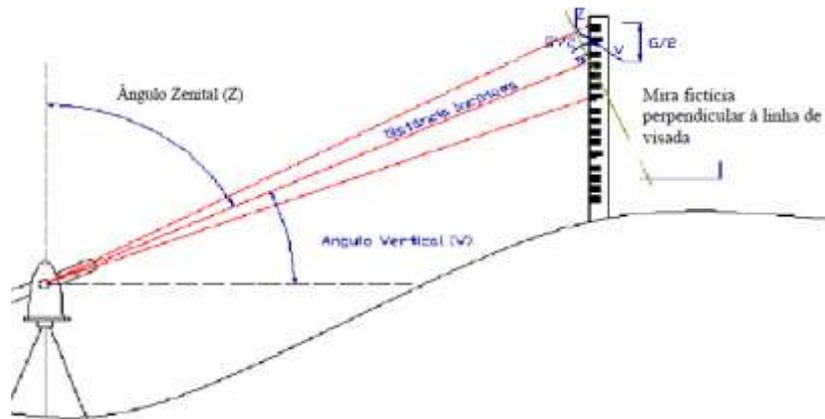
O nivelamento trigonométrico baseia-se na resolução de um triângulo retângulo. Para tanto, é necessário coletar em campo, informações relativas à distância (horizontal ou inclinada), ângulos (verticais, zenitais ou nadirais), além da altura do instrumento e do refletor. Este método de determinação de desnível pode ser dividido em nivelamento trigonométrico de lances curtos e lances longos. No nivelamento trigonométrico de lances curtos são utilizadas visadas de até 150m, para levantamento por caminhamento, amplamente aplicado nos levantamentos topográficos em função de sua simplicidade e agilidade. O nivelamento trigonométrico para lances longos está vinculado com a determinação dos desníveis entre os vértices da triangulação de segunda ordem. Nestes casos deve-se levar em consideração a influência da curvatura da Terra e refração atmosférica. O nivelamento trigonométrico tem ganhado espaço com o advento das estações totais, apresentando resultados otimistas. O nivelamento trigonométrico de precisão pela técnica Leap-Frog consiste em instalar a estação total entre os dois pontos dos quais se deseja obter o desnível, ao invés de instalar a estação total sobre um dos pontos como se procede no nivelamento trigonométrico tradicional. Sobre os pontos são instalados bastões com prismas refletores de mesma altura, que são visados pela estação total para obtenção das distâncias inclinadas e dos ângulos zenitais entre eles (Figura 4). Segundo Silva (2012) citando Kahmen e Faig (1988) este procedimento faz com que o cálculo da diferença de nível não dependa da altura da estação total ( $ih$ ) e da altura dos prismas refletores ( $hp$ ).



4 – Nivelamento Trigonométrico pela técnica Leap-Frog. Fonte: FAGGION *et al.* (2003).

Com o avanço tecnológico os equipamentos estão cada vez mais robustos, mas mesmo assim ainda utilizam das técnicas topográficas para dar suporte as operações. Um equipamento que vem sendo largamente utilizado é o laser scanner. Este equipamento utiliza o método da poligonação para determinação dos pontos de apoio e, a partir destes, pelo princípio da irradiação, determina uma nuvem de pontos com coordenadas distintas (planimetria e altimetria) que podem ser utilizada para diversas finalidades, de acordo com a necessidade. Como este equipamento faz uma varredura de uma grande quantidade de pontos, há a necessidade de uma filtragem com a finalidade de retirar os pontos de informação desnecessária. Este método também aumenta a confiabilidade do produto final, pois apresentará um numero grande de pontos para representação da feição de interesse. Assim a representação do relevo se torna mais aproximada, permitindo que projetos como cubagem, movimentação de terra, volume de madeira, etc. seja determinado com maior acurácia.

Outra técnica de nivelamento é o nivelamento taqueométrico, porem tem sido menos utilizada devido às imprecisões dos equipamentos utilizados. As únicas diferenças com relação à metodologia descrita anteriormente (nivelamento trigonométrico) consistem na forma de obter a distância entre os pontos de interesse e na determinação da altura do alvo. Com relação à distância utiliza-se a taqueometria e na determinação da altura do alvo, utiliza-se a leitura do fio médio.



$$Dn = m \cdot g \cdot \sin(z) \cdot \cos(z) + i - h = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) + i - h$$

Onde  $m = (\text{fio superior} - \text{fio inferior}) = \text{FS} - \text{FI}$

$g =$  constante estadimétrica

$Z =$  ângulo zenital

$\alpha =$  ângulo de inclinação

$i =$  altura do instrumento

$h =$  altura do alvo (fio médio)

O *nivelamento barométrico* é realizado com a utilização dos *barômetros*, que indicam as *pressões atmosféricas* com as quais se podem calcular as *diferenças de nível* ou as altitudes dos pontos topográficos tomados sobre o terreno. A *pressão atmosférica* é resultante do peso da camada de ar existente entre o limite superior da atmosfera e o solo. Assim, é evidente que esta pressão diminui à medida que aumenta a altitude, pois a camada de ar sobreposta fica menor. Neste processo de nivelamento é necessário conhecer a relação que existe entre a variação da coluna barométrica e os pontos topográficos situados em diferentes alturas.