

CAPÍTULO V

DRENAGEM E ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

5.1 INTRODUÇÃO

As drenagens e estabilização dos solos, são dois temas afectos ao estudo do comportamento e características dos solos. São assuntos de extrema importância, pois a partir deles depende a existência ou não de instabilidade e fenómenos de ruptura ao nível das fundações de uma obra, o que pode afectar toda a estrutura da mesma, bem como provocar a sua derrocada.

Ao longo do capítulo abordaremos os vários métodos que se aplicam, de modo a criar condições de estabilidade nos solos e a aumentar a sua resistência. Serão abordados os Processos mais apropriados para as construções de edifícios, para a execução de estradas, aeroportos e ainda para a construção de muros de suporte.

5.2 DRENAGEM DO TERRENO

Verifica-se com frequência na preparação do terreno para executar as fundações (edifícios, pontes, barragens, etc), e nas instalações de redes subterrâneas, a presença do nível da água acima da cota em que estas obras deverão ser construídas. A presença de água nas escavações das fundações apresenta vários inconvenientes, dificultando ou impossibilitando estes trabalhos, bem como modificando o equilíbrio das terras, provocando instabilidade no fundo da escavação e o desmoronamento dos taludes. Esta situação obriga a que as escavações tenham escoramentos mais cuidadosos e a eliminar ou reduzir a presença de água no terreno.

Para evitar que o terreno perca as suas características geológicas e para não provocar uma humidade constante nas fundações ou a subida por capilaridade da água nas paredes, é recomendável proceder à Drenagem do solo.

Preliminarmente deve-se referir que os lençóis de aquíferos podem ser livres ou artesianos, dependendo se a água está confinada entre camadas impermeáveis ou semi-impermeáveis.

As drenagens devem ser colocadas próximas das fundações, podendo ser formadas por drenos, tubos de barro cozido, ou ainda por tubos escorredores de cimento armado perfurados e colocados sem juntas, um junto do outro. Estes drenos nunca se devem colocar abaixo da sapata de fundação, pois podem originar assentamentos do solo, devido ao nível freático ficar abaixo das sapatas, criando vazios no solo e desagregando-o.

O diâmetro da drenagem está dependente da quantidade de água a captar, sendo o declive no mínimo de 3mm por metro.

Com os drenos no local, estes são envolvidos e recobertos com uma camisa de drenagem. Esta camisa é constituída por cascalho de 30 a 50 mm de diâmetro e um leito de cascalho filtrante de pequeno diâmetro até uma altura de 40 a 50 cm, depositando-se depois terra sobre este cascalho.

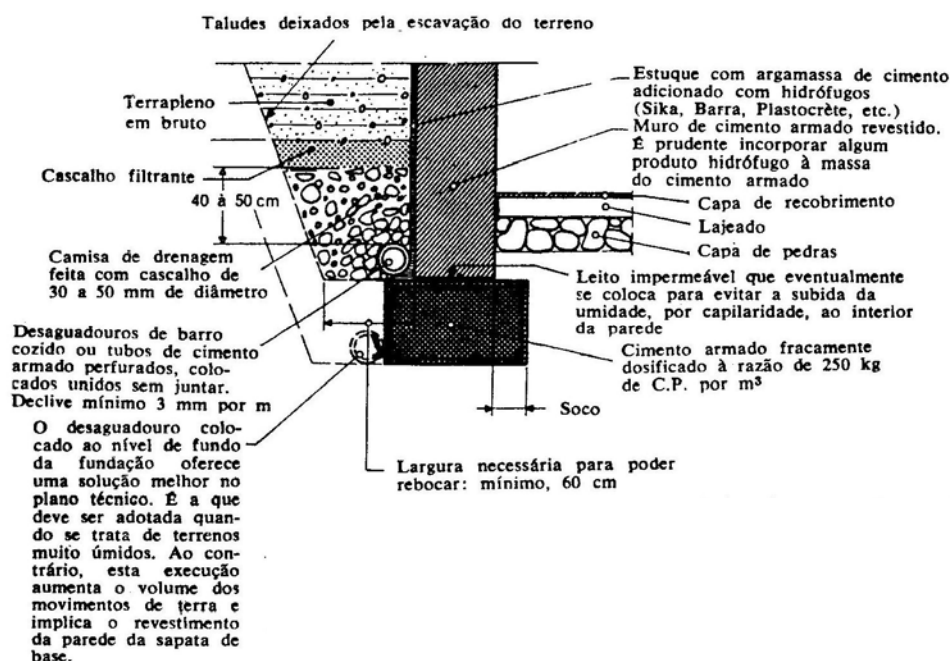


Figura V.1 – Drenagem do terreno junto às fundações.

Para aumentar a eficácia da drenagem é indispensável cerezitar a face da parede em contacto com a terra ou tratar a superfície da parede e pintá-la com produtos betuminosos. Para evitar infiltrações possíveis entre a sapata de base e o muro, o cerezite será disposto em forma chanfrada, arredondada sobre a saliência da fundação.

5.2.1 Obras em terrenos fortemente aquíferos

Quando as fundações de uma construção são estabelecidas sobre um subsolo impermeável, que por isso retém naturalmente as águas, é preciso proceder a certos trabalhos para evitar a penetração da água na obra.

Existem diferentes métodos para solucionar o problema, dependendo a utilização deste do nível a que podem chegar as águas.

Nos casos em que as águas subterrâneas se apresentem ocasionalmente e não sejam em volumes importantes, podem-se evacuar através do método descrito anteriormente, sendo as águas recolhidas pela drenagem e evacuadas para o sistema de esgotos ou para uma fossa.

No caso de ser inviável evacuar as águas de drenagem, casos em que o esgoto se encontra saturado, está num nível superior, ou o volume de água é elevado para a fossa, é necessário construir-se uma espécie de caixão fechado pelas suas paredes e pela estacaria de fundo e sobre o mesmo edificar a construção. Esta é uma solução que se adopta nos casos em que as fundações estão abaixo do nível freático ou de um lençol de água.

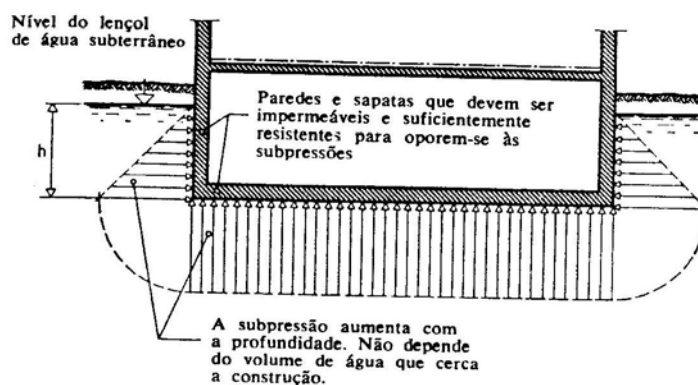


Figura V.2 – “Caixão” com paredes e laje de fundo impermeáveis.

5.2.2 Subpressões

Nos casos em que a obra se situa por baixo do plano do lençol de água, fica submetida à subpressão que age perpendicularmente às paredes, ou de baixo para cima sob a estacaria.

A subpressão tende a levantar a obra e por consequência diminui a solicitação exercida sobre o terreno. Para estes casos adopta-se um conjunto de fundações chamado escoramento em forma de cubeta, que é feito da seguinte maneira:

- Após a execução das escavações (que são difíceis devido à consistência plástica do terreno), coloca-se um leito de pedra, dique, no qual se pode incorporar uma drenagem perdida, que sendo acessível em determinados pontos, permite, através do uso de bombas, que se rebaixe o nível do lençol de água subterrânea, diminuindo as subpressões.
- Estende-se depois um capa de cimento pobre sobre as pedras, construindo-se de seguida a cubeta de represamento exterior por cima dessa capa.

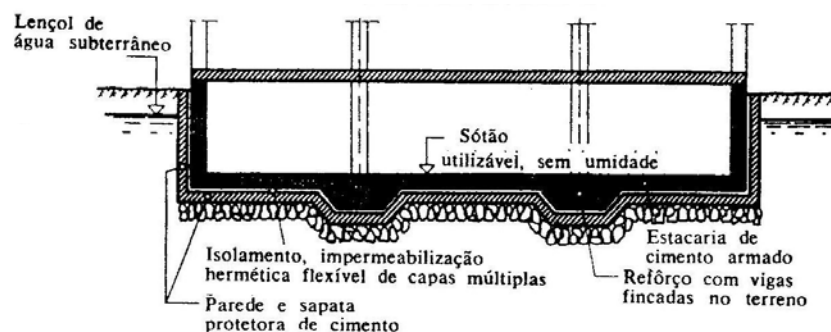


Figura V.3 – Laje de fundo impermeável.

Em geral devido ao elevado peso dos edifícios o efeito da subpressão raras vezes provoca estragos, embora em certas obras com baixo peso próprio este efeito possa apresentar graves inconvenientes. É o caso das piscinas, depósitos, cisternas, etc, sendo conveniente que estas estejam fortemente ancoradas no terreno por meio de pilotis, ou sobrecarregadas.

5.2.3 Redução do lençol de água subterrânea por meio de bombas

Para esgotar um lençol de água subterrânea é necessário construir poços distribuídos pela superfície dos terrenos escavados, sendo o espaçamento dos poços dependente do grau de permeabilidade do solo, não excedendo os 8 a 10m e sendo depois a água extraída através de bombagem.

Um outro processo consiste em conduzir a água para fora da zona de trabalho através de valetas e acumulada dentro de um poço executado abaixo da escavação, fazendo-se depois a bombagem directamente do fundo do poço.

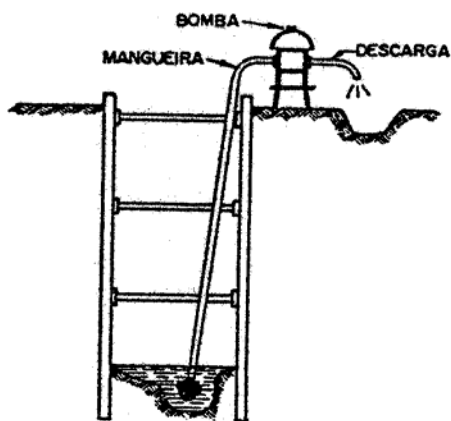


Figura V.4 – Rebaixamento do nível freático com bombagem.

Com estes processos pretende-se evitar que se façam bombagens directamente do fundo das escavações, método este que só se deve empregar em obras de pouca importância, dados os inconvenientes que originam.

Inicialmente ocorre o transporte das partículas finas do solo pela água, o que pode provocar o recalque das fundações vizinhas.

Em seguida observa-se que numa escavação em terreno permeável, á medida que a água vai sendo bombeada, o nível dentro da escavação baixa mais rapidamente que o nível exterior. Em consequência da diferença de carga do exterior para o interior, um fluxo de água corre para dentro da escavação, pelo seu fundo. Acima de um certo valor do gradiente hidráulico que daí resulta, este atingirá o seu valor crítico, ocorrendo então o fenómeno da areia movediça, elevando-se a areia do fundo da escavação, tornando-se incapaz de receber uma fundação directa.

Outro inconveniente a ser apontado é o da possibilidade de ruptura do fundo da escavação devido à subpressão da água, quando esta for maior que o peso efectivo do solo, caso em que o fundo da escavação é sobrejacente a uma camada de argila pouco espessa.

Um processo a que se recorre para evitar estes dois últimos inconvenientes, consiste no emprego de escoramentos não estanques.

5.2.4 Sistema de poços filtrantes

Para evitar os inconvenientes apontados, utiliza-se este método que permite rebaixar o nível de água de toda a área de trabalho.

O princípio geral do processo consiste em envolver a área que se pretende secar, com uma linha colectora (em geral de 6") ligada a uma bomba aspirante.

Ao longo do colector e espaçadas de 90cm, são soldadas tomadas de 1 ½". No prumo destas tomadas são descidos (por cravação ou por lançamento) tubos de 1 ½", terminados por ponteiras especiais, constituídas de um elemento de cano de cobre perfurado, envolto por uma rede de telas de cobre de malha adequada. O espaçamento entre os tubos não deve ser inferior a 15 vezes o diâmetro do tubo, de maneira a reduzir suficientemente a influência recíproca de uns sobre os outros. As ponteiras descem a uma profundidade um pouco maior do que a do ponto mais baixo a ser escavado.

Os tubos verticais são conectados às tomadas do colector por meio de uniões articuladas providas de um visor especial que permite o exame de funcionamento de cada uma das ponteiras. Por fim, a partir da bomba que aspira a água do solo através das ponteiras, sai um cano de descarga que pode ser conduzido para o local mais apropriado à evacuação das águas.

A rede deve ter um ligeiro declive no sentido das bombas para não se formarem bolsas de ar no interior das canalizações.

Devido ao grande número de poços filtrantes distribuídos pela área, consegue-se o rebaixamento do nível de água de maneira rápida e uniforme.

Admite-se que uma instalação normal realiza um rebaixamento do nível freático de 6 a 7m de altura, podendo, no entanto, em condições particularmente cuidadosas, alcançar 8,5 a 9m de altura.

Devido à limitação da altura de aspiração, quando a água deve ser rebaixada além de 7m abaixo do nível do colector, realizam-se dois estágios durante este processo, sendo o segundo realizado abaixo dos 7m já enxutos.

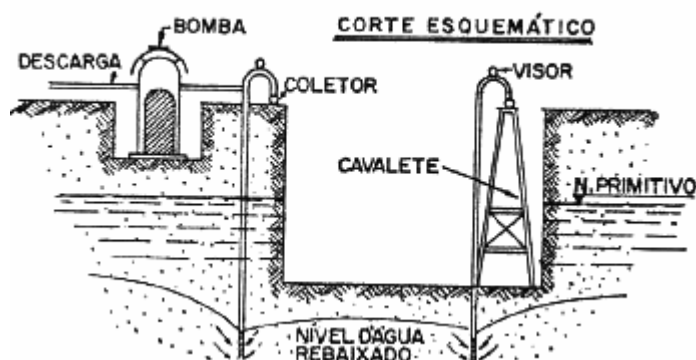


Figura V.5 – Sistema de poços filtrantes.

5.2.5 Bombas de profundidade

Este processo, denominado por “processo Siemens”, consiste em recalcar a água por meio de bombas submersas colocadas no fundo de um tubo filtrante, sendo indicado nas situações em que se deve fazer um rebaixamento do nível de água a uma grande profundidade. Existem bombas para este processo que rebaixam a água até mais de 100m de altura e com uma descarga de 60 m³/hora ou mais.

O poço filtrante é revestido por um tubo de aço com 15 a 30cm de diâmetro e 4mm de espessura, fechado na base e perfurado ao longo de uma certa altura.

A parte perfurada é envolvida por um conjunto de telas com malhas convenientemente escolhidas, de maneira a impedir a passagem das partículas do solo. A altura desta parte filtrante do poço depende do nível do lençol de água.

Na parte inferior é colocada uma bomba de rebaixamento, que é uma bomba centrífuga com eixo vertical, acoplada directamente a um motor eléctrico, também submerso ou situado na superfície do solo. A água é rebaixada por um tubo terminado por um colector de evacuação.

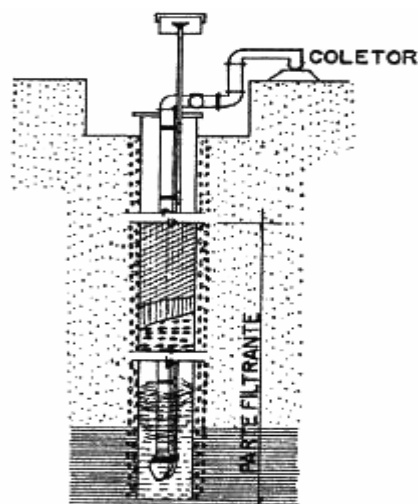


Figura V.6 – Rebaixamento do nível freático com bomba de profundidade.

5.2.6 Sistema a vácuo

Este sistema é empregado para solos com coeficientes de permeabilidade da ordem de 10^{-5} cm/Seg e diâmetros efectivos menores que 0,005mm.

Neste método provoca-se a rarefacção do ar nos colectores por meio de bombas adicionais de vácuo, ligadas à instalação, ao mesmo tempo que se utilizam poços filtrantes envolvidos por drenos de areia obturados na extremidade superior por um tampão de argila.

Devido a esta rarefacção no interior da instalação e considerando que no exterior a água está sujeita à pressão atmosférica (pa), cria-se deste modo um gradiente de pressão que faz com que a água percole na direcção dos poços filtrantes e daí para o colector, de onde é esgotada.

Por este método são acrescidas as pressões efectivas no solo, proporcionando melhor estabilidade do maciço.

5.2.7 Drenagem por electro-osmose

Para solos com coeficientes de permeabilidade compreendidos entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/seg, os métodos de drenagem atrás referidos são inoperantes.

Neste método, são instalados num solo saturado, dois eléctrodos, que após a passagem de corrente eléctrica entre ambos, a água contida nos vazios percolará no sentido do ânodo para o cátodo, sendo daí colectada e esgotada por meio de bomba.

O princípio em que se baseia este processo é mostrada pela seguinte equação:

$$Q = K_e * V/L * A$$

5.3 ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

5.3.1 Escoramento das paredes das escavações

Frequentemente, nas escavações para execução das fundações e para se alcançar a camada resistente, temos que realizar escavações cujas paredes, para serem mantidas, devem ser escoradas.

Para analisar o escoramento, dividimo-lo em dois casos:

- Escavações pouco profundas (até 5m);
- Escavações profundas;

A importância e a disposição do escoramento variam com o tipo de terreno e as profundidades que têm de ser alcançadas, pois com a profundidade aumentam as pressões e, claro, as dimensões das peças de escoramento.

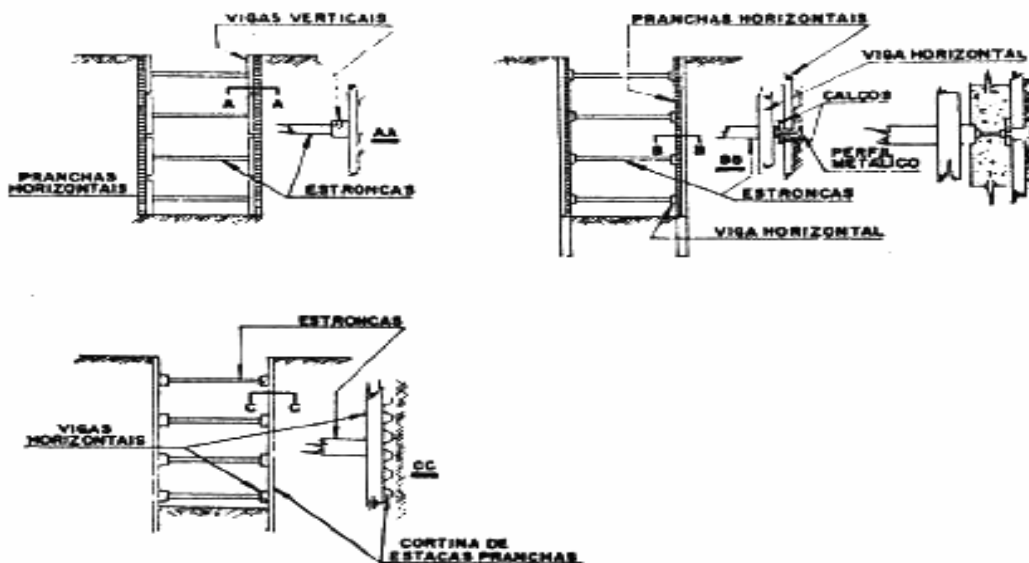


Figura V.7 – Soluções tipo para escoramento de escavações

Os sistemas de escoramento para escavações pouco profundas vão sendo construídos à medida que se avança com a escavação. O sistema de pranchas verticais, geralmente providas de encaixes macho e fêmea, recomenda-se para as areias e terrenos argilosos muito moles, dado garantir melhor vedação à passagem da água e de partículas finas do solo.

Para escoramento de escavações profundas são utilizados sistemas que empregam pranchas horizontais, perfis de aço em I e estacas-pranchas.

O tipo de escoramento com prévia cravação de perfis de aço em I, que servem de suporte às pranchas horizontais, é recomendado para as escavações em terrenos sem coesão ou terrenos argilosos muito moles, abaixo do nível de água.

Nas obras em que as profundidades a alcançar são grandes, ou em obras de grande responsabilidade é preferível o uso de estacas-pranchas, metálicas ou de betão armado.

Quando não se trata de escavações em trincheiras, o escoramento de um talude vertical pode ser feito com estacas inclinadas no terreno.

Existem igualmente casos em que se torna necessário escavar a área central e construir parte da fundação que servirá então para apoio das escoras inclinadas, quando o volume remanescente de terra for retirado.



Figura V.8 – Escavação escorada na fundação do edifício a construir.

5.3.2 Estabilização de maciços

5.3.2.1 Injecções

A estabilização consiste num qualquer processo ou tratamento capaz de melhorar a estabilidade de um maciço terroso ou rochoso.

Este processo propõe melhorar as características de resistência e impermeabilização dos maciços terrosos e rochosos.

Existem vários tipos de injeções:

✓ **Injeções de cimento:** consiste em injectar uma calda no terreno, através de tubos galvanizados de 2” a 3” de diâmetro, com a ponta aberta ou com paredes perfuradas, os quais são cravados até à cota em que se deseja a consolidação.

Estas injeções são aplicadas com sucesso nos solos granulares (desde o pedregulho até à areia fina), limitando-se o seu emprego aos solos cujo diâmetro efectivo é superior a 1mm.

Nos solos arenosos de granulometria fina, antes de se injectar as caldas, deve-se forçar uma injeção de água em tubos alternados, criando canais no solo entre os vários tubos.

Considerando que o material sobre o qual assentam as fundações de uma barragem deve ser resistente e impermeável, é usual o emprego deste método para consolidar e impermeabilizar estratos rochosos fissurados que sirvam de apoio a estas obras.

✓ **Injeções de argila:** baseiam-se na propriedade das argilas formarem soluções que se mantêm líquidas quando agitadas, recuperando a sua coesão quando em repouso.

✓ **Injeções à base de produtos betuminosos:** injecta-se no solo uma emulsão betuminosa, fluida e estável, constituída por uma dispersão de asfalto na água, juntamente com um agente regulador do tempo de ruptura da emulsão. Rota a emulsão, as partículas de asfalto aglomeram-se e impermeabilizam o maciço.

✓ **Silicatização:** é um processo químico de estabilização, que consiste em injectar no solo, separadamente, duas soluções, as quais entrando em contacto uma com a outra petrificam o maciço.

No caso de estarmos perante pavimentações, podemos agrupar os tipos de estabilização em duas categorias:

- estabilização mecânica;
- estabilização por adição de aglutinantes;

A escolha do tipo de estabilização não é tarefa fácil, pois intervêm vários factores: as propriedades do solo, ligantes aplicados, condições atmosféricas, condições de drenagem, de tráfego e sobretudo de ordem económica. Normalmente a estabilização mecânica é a mais utilizada, caso não seja possível esta solução, adopta-se a estabilização com cimento.

➤ Na estabilização mecânica a granulometria do solo é conservada ou corrigida pela mistura com um ou mais solos, antes da compactação, procurando-se aumentar a coesão ou o ângulo de atrito interno ou ambos.

Neste processo a escolha do solo ou dos solos, depende da disponibilidade das jazidas adjacentes ao local da obra. É necessário que o solo apresente uma graduação bem proporcionada e próxima da curva teórica de peso específico teórico. Esta estabilização, além de uma operação de compactação, é essencialmente um problema de escolha de um solo, que por si só ou misturado com outros, satisfaça as exigências em cada obra.

➤ Na *estabilização por adição de aglutinantes*, junta-se ao solo uma substância que aumenta a sua coesão ou que o impermeabiliza, impedindo a diminuição da sua resistência pela acção da água. Com a primeira, emprega-se o cimento, a cal ou produtos betuminosos; com a segunda, as resinas, os betuminosos ou produtos químicos.

Consoante a natureza do ligante, definem-se quatro tipos de estabilização:

- Solo-cimento: utiliza-se cimento portland, devendo o solo ter um diâmetro máximo das partículas de 3”, a percentagem passada no peneiro nº 40 deve ser de 15 a 100%, o LL.< 40% e IP < 18%. As quantidades de cimento empregadas oscilam entre 8 e 22% do volume do solo.
- Estabilização betuminosa: é uma mistura em que o efeito do betume é considerado sob o duplo aspecto de ligante e impermeabilizante do solo, sendo a variação da quantidade de betume empregue entre 4 e 7% do peso do solo seco. É indicada para solos de areias soltas.
- Estabilização com outros produtos: consiste no emprego de resinas orgânicas, cujo princípio se baseia na propriedade que têm esses produtos de repelir a água quando misturadas com o solo em pequena percentagem (0,5 a 2% do peso do solo seco).

5.3.3 Reforço dos solos para as fundações

- Injeções de cimento ou de argila, que permitem consolidar certas camadas de terreno;
- Poços de areia, colunas de materiais deslocados de outros locais, construídas nos terrenos que transmitem as cargas recebidas às camadas do terreno;
- Drenagens, constituídas por tubos ou por uma capa filtrante;
- Vibro-flutuações, as consolidações electro-químicas ou electro-físicas;

5.3.4 Congelamento do solo

Esta técnica só se emprega nos casos difíceis de fundações em terrenos maus (solos moles e saturados de água). É uma solução dispendiosa, pois exige a prévia instalação de uma central de refrigeração.

O princípio em que se baseia, consiste em fazer circular por tubos congeladores, instalados no terreno, um líquido refrigerante, que irá congelar o solo e, conseqüentemente, estabilizar o maciço enquanto durar o processo.

5.3.5 Estabilização de taludes

Sob o nome genérico de taludes, compreende-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podendo ser naturais, no caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros.

Existem vários métodos para a estabilização de taludes; os mais utilizados são:

✓ **Diminuição da inclinação do talude:**

Este é um método simples de reduzir o peso do talude, suavizando o seu ângulo de inclinação, ou então podem-se executar patamares no talude, o que provoca o mesmo efeito;

✓ **Drenagem (superficial e profunda):**

As águas superficiais e de infiltração têm grande influência na estabilidade dos taludes, daí a importância destes métodos de drenagem, que no caso das águas superficiais se faz através de banquetas, e as águas profundas são escoadas através de furos horizontais;

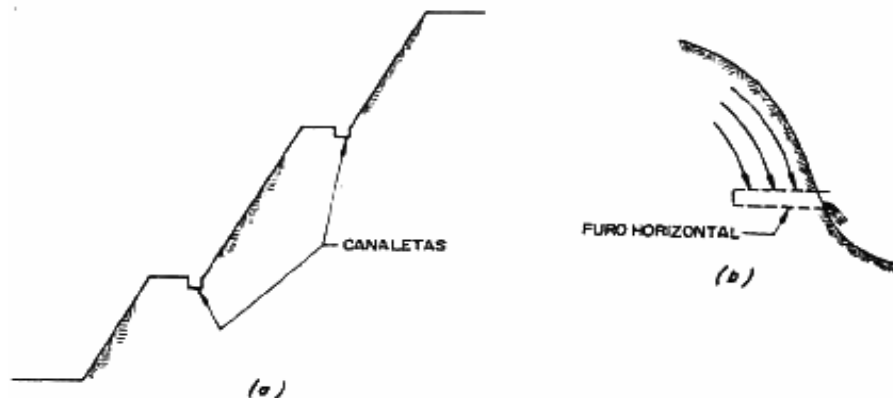


Figura V.9 – Drenagem de taludes.

✓ **Revestimento do talude:**

A plantação do talude com espécies vegetais adequadas ao clima local é uma protecção eficaz contra a erosão do mesmo e contra a erosão superficial. É usado, em alguns locais, a plantação por via líquida;

✓ **Emprego de materiais estabilizantes:**

Este método tem como objectivo melhorar as características de resistência dos solos, misturando-os com alguns produtos químicos. As injeções de cimento são particularmente recomendadas em casos de maciços rochosos fissurados;

✓ **Muros de arrimo e ancoragens:**

A execução de muros de arrimos convencionais ou a introdução de tirantes de aço no interior do maciço, ancorando-os fora da zona de escorregamento, constituem soluções para muitos casos que ocorrem na prática;

✓ **Utilização de bermas:**

Consiste em colocar no fundo do talude, bermas, isto é, banquetas de terra, em geral do mesmo material do talude, para aumentar a sua estabilidade. Este aumento consegue-se devido ao peso próprio do talude e à redistribuição das tensões de corte que se produzirão no terreno de fundação, onde as tensões são elevadas;

✓ **Prévia consolidação da fundação, quando constituída por solos compressíveis:**

Sempre que se verificam estas condições, deve-se provocar um aumento progressivo da resistência do solo de fundação ao corte, o que pode ser conseguido através de um incremento no processo de consolidação através de drenos verticais de areia.

5.3.6 Estabilidade dos solos na construção de estradas

Os problemas de fundações de aterros para estradas e aeroportos, surgem na construção de aterros sobre argilas moles ou terrenos pantanosos, aparecendo grandes recalques ou até mesmo a ruptura da fundação.

Pode-se evitar tais problemas, recorrendo aos seguintes métodos:

✓ **Construção lenta do aterro:**

Este método consiste em manter o mais possível, próximas de zero, as pressões neutras, originando uma maior resistência ao corte do solo, aumentando a sua capacidade de carga.

✓ **Remoção da camada mole:**

Neste processo, a técnica a ser usada depende da profundidade alcançada por esta camada. Se for na ordem dos 3m, pouco profunda, a remoção pode ser feita por meio de drag-lines; caso contrário, usar-se-ão cargas de dinamite correctamente colocadas na camada de argila, as quais através das explosões originam a deslocação do material mole, conseguindo-se assim o assentamento do aterro sobre uma camada mais resistente. Este deslocamento pode-se conseguir através do peso próprio do aterro, auxiliado pela abertura prévia de uma vala ao longo do trecho.

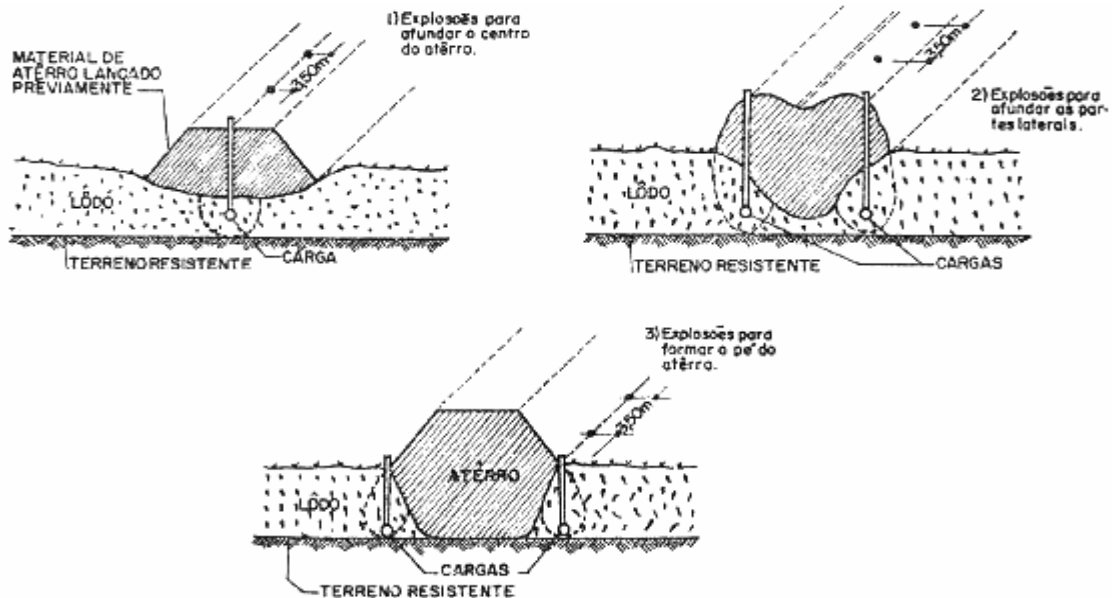


Figura V.10 – Estabilização de aterro por meio de explosivos.

✓ **Drenos verticais de areia:**

Os drenos verticais de areia são executados numa camada de solo que se adensa sob a acção de uma sobrecarga e têm como objectivo acelerar o processo de adensamento.

O princípio de funcionamento, baseia-se no caso mais geral da teoria do adensamento, pois além de persistir o fluxo de água vertical, os drenos dão lugar a um fluxo horizontal radial, simétrico em relação ao eixo do dreno, dentro de um certo espaço de influência.

Os drenos verticais de areia, em geral, são executados cravando-se um tubo aberto no solo e limpando-o. O tubo com diâmetro de 20 a 60cm, é retirado à medida que vai sendo cheio com material permeável (areia) e de granulometria adequada.

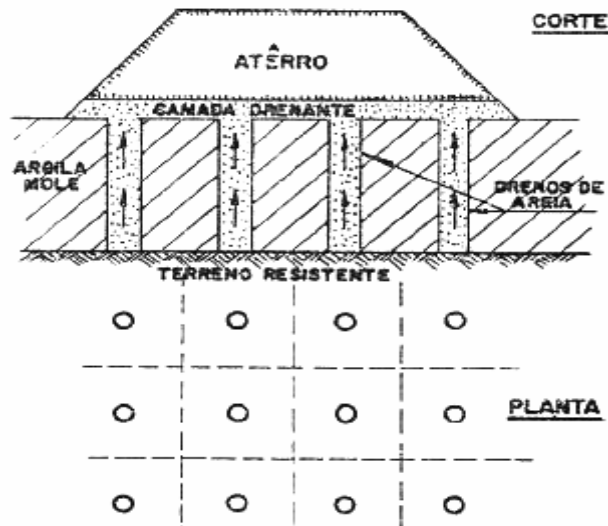


Figura V.11 – Consolidação da fundação argilosa de aterro por meio de drenos verticais.

✓ **Bermas:**

As bermas de equilíbrio, têm por objectivo reduzir as tensões de corte na camada mole do aterro. Estas plataformas laterais de contra-peso, construídas junto do aterro criam um momento resistente que se opõe ao de ruptura provocado pela carga do aterro, favorecendo a resistência ao corte da argila.