

**Luciano Loureiro Carneiro Barbosa**  
UNISUAM  
**Rachel Cristina Santos Pires**  
UNISUAM

## RESUMO

O solo é um dos principais materiais utilizados nas obras viárias, tem grande disponibilidade para ser utilizado, possui baixo custo e é pouco prejudicial à natureza e a saúde humana. No entanto, é possível que o solo local encontrado a disposição para a execução da construção não apresente as propriedades e características necessárias para suportar os esforços oriundos do tráfego e das intempéries, desta forma, se faz necessário a correção do solo disponível para que este atenda às exigências de projeto de aterros sobre solos moles são caracterizados por baixa resistência e permeabilidade, e alta deformabilidade. Assim, deve-se atentar para o baixo fator de segurança durante e logo após a construção do aterro, visto que, nessas fases, o carregamento é máximo, porém a resistência do solo de fundação é mínima, por causa do excesso de poropressão gerado. No final da construção, com o decorrer do tempo, há uma tendência de aumentar a estabilidade, em consequência do ganho de resistência promovido pelo adensamento do solo mole. Existem diversos métodos para corrigir e estabilizar os solos, e é fundamental conhecê-los para fazer uma escolha correta, tecnicamente e economicamente falando. Com base nisso, foi produzido este artigo de revisão bibliográfica de análise interpretativa e comparativa entre alguns processos de estabilização de solos, trazendo conceitos, classificações, apresentando os diferentes tipos de estabilização e estabilizantes, incluindo as novas tendências de pesquisas científicas neste segmento.

Palavras-chave: Análise de estabilidade; Métodos construtivos; Aterro.

## INTRODUÇÃO

A necessidade da execução de escavações urbanas cada vez mais profundas tem imposto aos engenheiros o grande desafio de equilibrar elevados esforços horizontais com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças.

Muitos materiais têm sido estudados para serem inseridos como agentes estabilizantes, que melhorem as características geotécnicas de solos

e, conjuntamente, os agregados de resíduos sólidos, provenientes da indústria da construção civil que tem se mostrado como materiais promissores para uso em camadas de pavimentos.

Estes materiais possuem, inclusive, normatização própria para tal finalidade, a ABNT NBR 15115/2004 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos) e ABNT NBR 15116/2004 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos), podendo ser divididos em duas classificações: Agregado de Resíduo Misto (ARM) e Agregado de Resíduo de Concreto (ARC).

Grubba (2009) afirma com base em seu estudo do comportamento mecânico do ARC, que o mesmo pode ser usado como camada de base e sub-base de pavimentos.

O êxito do comportamento dos pavimentos de áreas habitacionais, e também se estendendo a rodovias e vias urbanas requer engenharia, pesquisa e inovação. Isso exige trabalhar com a natureza e empregar materiais que se encontram disponíveis localmente, otimizando o uso dos recursos e buscando a sustentabilidade. Dessa forma, necessita-se de planejamento, projeto, construção e trabalhos de manutenção que maximizem a qualidade, a agilidade construtiva, a economia de recursos não renováveis, os custos e o tempo de vida útil da estrutura do pavimento. Problemas assim incentivam a pesquisa de soluções para a estabilização desses tipos de solos.

Uma das técnicas utilizadas para essa alternativa é a estabilização granulométrica dos solos a partir da aplicação de agregados. Nesse contexto, analisar a viabilidade da aplicação de agregados reciclados de resíduos da construção civil misturados com um solo colapsível visando melhorar as características de colapso do solo em estudo e contribuir para um direcionamento viável destes resíduos.

A estabilização consiste no tratamento do solo, por um processo mecânico, ou químico, tornando-o estável para os limites de sua utilização, e permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas. Entre os principais métodos de estabilização de solos além da correção granulométrica já citada, pode-se citar também a compactação, e a adição de estabilizantes químicos; estes podem ser usados individualmente ou em conjunto (BRITO & PARANHOS, 2017).

A escolha do tipo de estabilização a ser realizado deve ter viabilidade técnica e econômica, para tanto, é necessário conhecer melhor os métodos de estabilização de solos, dos mais tradicionais até as novas técnicas disponíveis no mercado. Portanto, este artigo apresenta definições, classificações, tipos de estabilização e estabilizantes, englobando também as novas pesquisas neste campo.

Inicialmente para realizar o estudo, é necessário recorrer aos métodos de investigação geológica, realizar levantamentos, consistindo na descrição dos solos e rochas encontrados no terreno. Através deste

levantamento geológico, será possível analisar geotecnicamente a área caracterizando a instabilidade do solo encontrada no local, podendo assim descrever os perfis de solos expostos e a litologia.

Este projeto expõe bases para a elaboração de um artigo de cunho científico, referências bibliográficas, normas, artigos científicos, estudos de caso em dissertações e sites especializados e pretende-se elucidar sobre como o desempenho de uma construção, durante ou após, está interinamente ligada à estabilização corretamente dos solos.

Este estudo objetiva aprofundar o entendimento desse tipo de projeto através de análises dos métodos construtivos para estabilização de solos em aterros, com análise interpretativa e comparativa entre alguns processos de estabilização de solos, avaliando também o comportamento mecânico em função da deformabilidade e da resistência.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Estabilização de Solos**

A estabilização de solos é uma prática milenar, desenvolvida a princípio de forma rudimentar, foi sendo aprimorada com o tempo. Tem sido considerada a principal preocupação dos pesquisadores do segmento de geotecnia e engenharia civil, que buscam por soluções mais eficientes e econômicas. É um processo realizado para estabilizar e suplementar as propriedades de resistência do solo, maximizando a adequação para um determinado uso. A estabilização do solo pode ser realizada por métodos mecânicos ou químicos (MOUSAVI et al., 2017).

Segundo Vargas (1985), chama-se estabilização de solos o processo pelo qual se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas, ao desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção da sua granulometria e da sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe confirmam uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação dos seus grãos.

A estabilização de um solo consiste em dotá-lo de condições de resistir a deformações e ruptura durante o período em que estiver exercendo funções que exigem essas características, num pavimento ou outra obra qualquer (SENÇO, 2001).

Para obter uma execução bem-sucedida na estabilização de solo, é necessário a realização de ensaios laboratoriais e testes de campo, embora os ensaios de laboratório resultem em resistências maiores do que o material correspondente do campo, eles ajudam a avaliar a eficácia dos materiais estabilizados em campo e auxiliam na determinação do tipo de estabilizante e de sua quantidade. Estabilidade, força, compressibilidade, permeabilidade e durabilidade do volume são as informações relevantes sobre as propriedades do solo que mais interessam aos profissionais, e a compreensão destas características é crucial para obter a estabilidade (MAKUSA, 2013).

Segundo Balbo (2007), as camadas com materiais que não empregam estabilização com ligante hidráulico ou asfáltico são camadas que recebem estabilização puramente mecânica por efeito de compressão e adensamento dos materiais constituintes; além disso, quando bem graduadas, dizemos que são estabilizadas granulometricamente. Camadas desse tipo, compostas por granulares (agregados), por solos ou, ainda, por mistura de ambos, ocorrem em bases, sub-bases e, eventualmente, em reforços de subleitos de pavimentos.

A estabilização mecânica é considerada o método mais utilizado e mais antigo na construção de estradas, trata-se de uma melhoria derivado das mudanças e alterações na proporção das partes sólidas, líquidas e gasosas. Pode ser realizada por compactação, procedimentos que alteram apenas o arranjo das partículas do solo; ou por correção da granulometria, que é a adição ou retirada de partículas do solo (MEDINA & MOTTA, 2005).

O método de estabilização por compactação é responsável pela melhoria da estabilidade mecânica de maior parte dos tipos de solo, no entanto, existem casos em que a compactação sozinha não é suficiente, e passa a ser usada em conjunto com outros métodos de estabilização. Com este método, através de uma energia externa de compactação aplicada ao solo, é possível diminuir o número de vazios do solo, desta forma, inibindo a percolação da água e a erosão provocada por ela, aumentando a densidade, a durabilidade, a compacidade, e, conseqüentemente, a resistência mecânica. (LITTLE, 1995; MEDINA & MOTTA, 2005; BRITO & PARANHOS, 2017).

Por outro lado, a correção granulométrica diz respeito a combinação e mistura de dois ou mais tipos de solos, em proporções adequadas para obtenção de um material homogeneizado, bem graduado, com porcentagem limitada de partículas finas e posterior compactação. Este processo, tem como finalidade garantir a estabilidade do solo e o aumento da resistência mecânica, por meio do contato entre os grãos das partículas maiores e o preenchimento dos vazios pelos grãos das partículas mais finas (VILLIBOR, 1982).

Sob uma diferente perspectiva, quando o solo sofre um processo de estabilização química ele tem sua estrutura modificada, passando a ter maior resistência, menor permeabilidade e compressibilidade do que o solo nativo. Com a adição de estabilizadores ao solo natural, ocorrem reações químicas que ajudam a atingir a umidade ótima para uma boa compactação, promovendo o preenchimento dos poros e assegurando a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo, para a obtenção da resistência exigida em projeto. Os resultados alcançados por este processo, dependem principalmente das reações químicas que acontecem entre o estabilizador e os minerais presentes no solo. A estabilização química pode ser executada com diferentes tipos de aditivos, como a cal, o cimento, a emulsão betuminosa, pozolanas, produtos industriais e resíduos industriais (MAKUSA, 2013).

## **Estabilização Física (Granulométrica)**

Na estabilização física as propriedades do solo são alteradas modificando-se sua textura. Este método consiste basicamente no emprego de um ou mais materiais, de modo a se enquadrarem dentro de uma determinada especificação, como, por exemplo, a correção granulométrica ou a adição de fibras.

A estabilização granulométrica consiste na combinação e manipulação de solos, em proporção adequada, de forma a obter um produto final de estabilidade maior que os solos de origem, e adequado para a aplicação em cada caso particular (VILLIBOR, 1982).

Todos os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos em proporções as mais variadas. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência permitem obter a função distribuição de partículas do solo denominada distribuição granulométrica (ARRIVABENI, 2017).

Vizcarra (2010) afirma que a estabilização granulométrica consiste em se obter um material de estabilidade maior que os solos de origem e de porcentagem limitada de partículas finas, com a mistura íntima homogeneizada de dois ou mais solos e sua posterior compactação, ou seja, consiste na alteração das propriedades do solo através da adição ou retirada de partículas do mesmo, procurando obter como produto final um material adequado para a aplicação em cada caso particular.

Os fatores que influenciam no comportamento da composição granulométrica são: a natureza da partícula, pois a mesma deve apresentar resistência suficiente e não sofrerem alterações indesejáveis; e a estabilização da composição deve ser levada a densificação ótima, que pode ser entendida como o melhor arranjo das partículas aprimorando a distribuição dos esforços (MEDINA & MOTTA, 2005).

Como influência da granulometria na estabilidade de um solo, um material granular projetado para máxima estabilidade deve possuir alto atrito interno, a fim de resistir as deformações. Existe uma relação direta entre estabilização e granulometria que proporcionam uma máxima densificação, através do preenchimento, por grãos menores dos vazios existentes entre os grãos maiores, mas sem que seja perdido o contato entre eles, a fim do que existam forças de atrito entre os mesmos (SANTANNA, 1998).

Segundo Senço (2001), entre as características que um solo estabilizado deve apresentar, ressaltam-se a resistência ao cisalhamento e a resistência à deformação. A condição de resistência ao cisalhamento deve fazer com que o solo, quando sujeito às tensões oriundas, resista, sem se romper, a deformações além de certos limites considerados ainda compatíveis com as necessidades do local.

## **Estabilização Mecânica**

Os métodos mecânicos são aqueles que não se adicionam qualquer material estranho ao solo. Aumentam a densidade do solo, melhorando sua resistência mecânica e durabilidade. Envolvem a redução de volume de vazios do solo através da energia imposta; preenchimento de vazios reduzindo os poros e inibindo a percolação da água e a erosão provocada por ela, aumentando a durabilidade; aumento da compactação, tendo-se o acréscimo da resistência mecânica; drenagem e mantendo o conteúdo de água constante, a mistura de tipos de solos diferentes. Em geral estas técnicas são combinadas com a compactação (SANTOS, 2012).

Segundo Seed & Chan (1959, apud PINTO, 2008) a quantidade de água utilizada em um processo de compactação influencia diretamente na resistência e na durabilidade do solo. Eles estudaram a estrutura de formação do solo nos ramos seco e úmido da curva de compactação observando algumas diferenças entre os dois ramos que deram origem ao direcionamento do estudo efetuado nesta pesquisa. No ramo seco da curva, onde tem-se uma baixa quantidade de água, ocorre o favorecimento do arranjo floculado (não alinhado) das partículas de argila. Já no ramo úmido, conforme a quantidade de água é acrescida, o grau de alinhamento entre as partículas aumenta, denominando-se arranjo dispersivo.

O carregamento efetuado durante a compactação pode gerar uma estabilização mecânica de natureza dinâmica ou estática. Isto influencia na densidade seca e conseqüentemente no teor de umidade ótima (SANTOS, 2012).

## **Estabilização Química**

A estabilização química dos solos refere-se ao procedimento no qual uma quantidade de material químico qualquer (aditivo) é adicionada ao solo natural, melhorar uma ou mais de suas propriedades de engenharia. Os estabilizantes utilizados podem ser betumes, cimento Portland, cal, pozolanas e outros.

O estabilizante químico mais utilizado é o cimento, sua ação no solo se dá precisamente da mesma maneira que no concreto. A reação com a água forma um gel coloidal cimentício insolúvel, capaz de dispersar-se e preencher os poros, endurecendo para formar uma matriz contínua de melhor resistência que envolve as partículas de solo ligando as juntas (COOK & SPENCE, 1983, apud PINTO, 2008).

A estabilização química conduz a uma melhor resistência mecânica e menor permeabilidade, proporcionando uma maior durabilidade (SANTOS, 2012).

## **Origem dos Solos**

Os solos são misturas complexas de materiais inorgânicos e resíduos orgânicos parcialmente decompostos. Para o homem em geral, a formação do solo é um dos mais importantes produtos do intemperismo. Os solos diferem grandemente de área para área, não só em quantidade (espessura de camada), mais também qualitativamente.

Segundo Pinto (2016), todos os solos se originam da decomposição das rochas que constituem inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos. Variações de temperatura provocam trincas, nas quais penetra a água, atacando quimicamente os minerais.

O congelamento da água nas trincas, entre outros fatores, exerce elevadas tensões, do que decorre maior fragmentação dos blocos.

A presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, etc. O conjunto destes processos, que são muito mais atuantes em climas quentes do que em climas frios, leva à formação dos solos que, em consequência, são misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química.

A maior ou menor concentração de cada tipo de partícula num solo depende da composição química da rocha que lhe deu origem.

## **Classificação dos Solos**

Segundo Rodrigues (2018) solos diferentes com propriedades similares podem ser classificados em grupos e subgrupos de acordo com seu comportamento do ponto de vista da engenharia. Os sistemas de classificação fornecem uma linguagem comum para se expressar concisamente, sem descrições detalhadas, as características gerais dos solos, que são infinitamente variadas.

O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema (PINTO, 2006).

Ainda de acordo com Pinto (2006), é muito discutida a validade dos sistemas de classificação. De um lado, qualquer sistema cria grupos definidos por limites numéricos descontínuos, enquanto solos naturais apresentam características progressivamente variáveis. Pode ocorrer que solos com índices próximos aos limites se classifiquem em grupos distintos, embora possam ter comportamentos mais semelhantes do que solos de um mesmo grupo de classificação. A esta objeção, pode-se acrescentar que a classificação de um solo, baseada em parâmetros físicos por ele apresentados, jamais poderá ser uma informação mais completa do que os próprios parâmetros que o levaram a ser classificado, entretanto, a classificação é necessária para a transmissão de conhecimento.

Quando um tipo de solo é citado, é necessário que a designação seja entendida por todos, ou seja, é necessário que exista um sistema de classificação. Conforme apontado por Terzaghi, “um sistema de classificação sem índices numéricos para identificar os grupos é totalmente inútil”. Se, por exemplo, a expressão areia bem graduada compacta for empregada para descrever um solo, é importante que o significado de cada termo desta expressão possa ser entendido da mesma maneira por todos e, se possível, ter limites bem definidos (RODRIGUES, 2018).

## **Solos Moles**

As deformações que ocorrem em uma massa de solo quando esta é submetida a um carregamento dependem do estado de tensões aplicado, das propriedades do solo e da forma pela qual o estado de tensões é atingido.

Solos moles são caracterizados geralmente como solos argilosos saturados, com baixíssima resistência ao cisalhamento, baixa permeabilidade e alta compressibilidade. Com isso, quando carregados, apresentam tempo de adensamento muito elevado, que pode compreender em anos ou, até mesmo, décadas. Como consequência, esse efeito pode comprometer o prazo requerido para o término do projeto e/ou gerar problemas futuros associados a recalques. A partir disso, fez-se necessário, dentro da engenharia geotécnica de se estudar diferentes técnicas construtivas que possam vir a minimizar ou, até evitar por completo esse fenômeno (MARTINS & ABREU, 2002).

Para o caso de obras sobre solos moles, surgem incertezas sobre o comportamento real da obra devido à variabilidade do perfil geotécnico e às dificuldades na previsão acurada da dissipação do excesso de poropressão como também dos deslocamentos que ocorrem na camada de argila.

Um fator de grande relevância nos estudos do comportamento dos aterros e obras sobre solos moles corresponde às análises de suas condições de estabilidade interna (aterro), estabilidade externa (fundação) e estabilidade global (aterro + fundação) (ALMEIDA, 2010).

## **APLICAÇÕES DO SOLO REFORÇADO EM ATERROS**

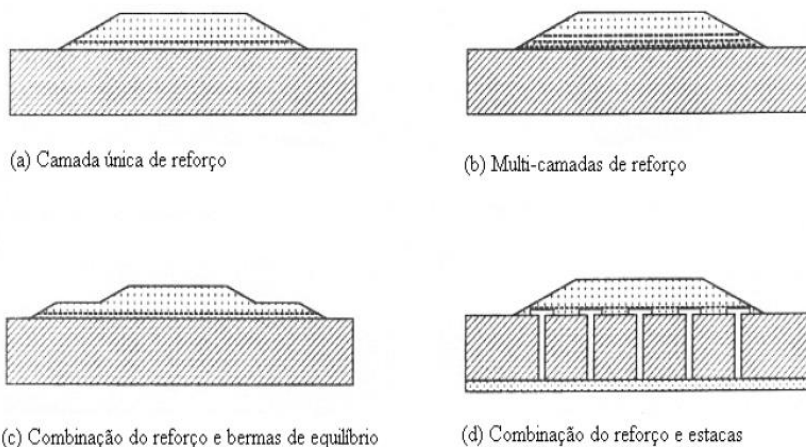
Os solos, em geral, desde que adequadamente compactados, apresentam boa resistência à compressão e ao cisalhamento. No entanto, a resistência à tração é baixa. A técnica de solo reforçado objetiva incorporar, ao solo, materiais que concentrem as cargas de tração, melhorando as características mecânicas do material composto. Aterros reforçados sobre solos moles, são algumas das aplicações correntes.

Segundo Moraes (2002), em aterros reforçados sobre solos moles, o reforço pode ser colocado em toda a extensão da interface aterro-fundação, em camadas compreendendo toda altura ou somente posicionadas próximo à base do aterro. Nos aterros muito extensos, o reforço pode ser instalado parcialmente, limitando-se a trechos próximo às bordas do mesmo. O reforço,



também, pode ser empregado combinado a bermas de equilíbrio ou associado a estacas.

**A figura 1:** esquematiza alguns exemplos



Fonte: MORAES (2002)

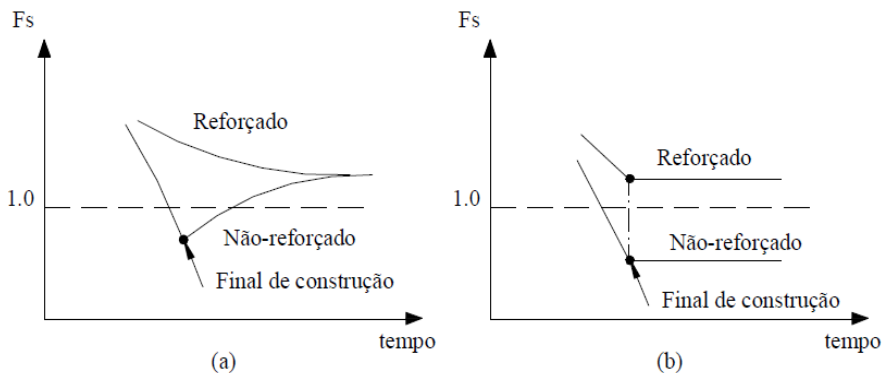
Existem vários tipos de reforços, os quais variam segundo a forma e a matéria-prima com que são fabricados. Por exemplo: tiras, mantas ou grelhas, que podem ser metálicas ou sintéticas, comumente denominadas geossintéticos (geotêxteis, geocélula e geogrelhas). Os geossintéticos são fabricados a partir de polímeros. Dentre as características necessárias para atuarem como reforço, tem-se que os geossintéticos devem ser resistentes, relativamente rígidos, duráveis e aderentes ao solo (MORAES, 2002).

Palmeira (1999), cita as contribuições da presença do reforço geossintéticos em aterros sobre solos moles, tais como:

- Distribuição de tensões mais favorável para o solo mole;
- Aceleração do processo de adensamento, caso o reforço seja drenante;
- Execução de taludes mais íngremes;
- Aumento do fator de segurança (PALMEIRA, 1999).

Em relação ao fator de segurança, a figura 2 (a) apresenta, que o reforço melhora a estabilidade do aterro reforçado durante o período construtivo e no processo de adensamento do solo mole de fundação até que o ganho de resistência deste torne desnecessária a presença do reforço. No caso do reforço colocado ao longo de todo o talude do aterro, visando a execução de taludes mais íngremes, o reforço é necessário por toda a vida da obra, como se verifica na figura 2 (b).

**Figura 2:** Fator de segurança de aterros não-reforçados e reforçados: (a) reforço colocado na interface aterro-fundação; (b) reforço incorporado ao talude do aterro



Fonte: MORAES (2002)

A magnitude da força, a ser mobilizada nos reforços, depende do tipo de aplicação. A força suportada por cada camada de reforço pode variar entre 10 e 400kN/m.

A aderência do reforço ao solo é determinada em função da forma do geossintético.

Grelhas ou mantas proporcionam uma boa aderência ao solo.

A durabilidade do reforço é influenciada pelo tempo e deve ser avaliada juntamente com as condições ambientais. Em obras permanentes, a durabilidade do geossintético é um fator importante a ser considerado.

## Propriedades dos Geossintéticos

Os geossintéticos são usados em diversas situações em engenharia geotécnica especialmente como elementos para reforço de solos, drenos, filtros, camadas de separação ou impermeabilização. Dependendo da função a ser desempenhada na obra, diferentes propriedades são requeridas dos geossintéticos.

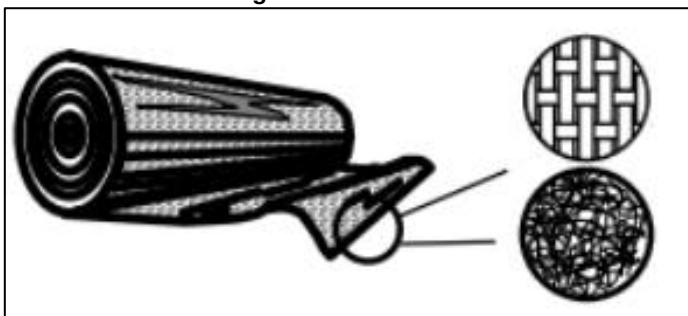
Os materiais constituintes dos geossintéticos são os polímeros. Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades menores denominadas monômeros, que são estruturadas num processo denominado de polimerização. Na polimerização dá-se a junção dos monômeros de modo a formarem macromoléculas, variando as propriedades de um polímero de acordo com o número e o tipo de monômeros que o constituem. Em termos químicos os polímeros sintéticos são constituídos no geral por compostos de carbono e hidrogênio, organizando-se em grupos por vezes muito complexos (COSTA et al., 2015).

## Classificação dos Geossintéticos

Os geossintéticos podem ser classificados genericamente em categorias dependendo do processo de fabricação. As denominações usuais e breves descrições dos geossintéticos estão apresentadas a seguir:

**Geotêxteis:** são mantas contínuas de fibras ou filamentos, tecidos, não tecidos, tricotados ou costurados. As mantas são flexíveis e permeáveis. Geotêxteis são usados para aplicações de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões (Figura 3).

**Figura 3:** Geotêxteis



Fonte: COSTA et al. (2015)

Geotêxteis tecidos (Figura 4) são fabricados com o processo de tecelagem tipo trama, com baixa permeabilidade, utilizados principalmente como elementos de reforço, estabilização em aterros e obras de contenção tipo solo reforçado. Sua utilização possibilita a redução dos custos e dos cronogramas executivos das obras, e também minimiza a interferência no meio ambiente (GEO DIPROTEC, 2020)

**Figura 4:** Geotêxteis tecidos



Fonte: GEO DIPROTEC (2020)

Geotêxteis não tecidos (Figura 5) são mantas sintéticas permeáveis, fabricados pelo sistema de agulhagem, resistentes à tração, puncionamento e agentes químicos, com ampla utilização em diversos segmentos da construção civil, indústria e infraestrutura. São normalmente aplicados como filtro em sistemas de drenagens, camada de separação entre materiais de diferentes granulometrias, proteção mecânica em sistemas de

impermeabilização, elemento de reforço em recapamentos asfálticos, estruturante para impermeabilizações e mantas para cura de concreto (GEO DIPROTEC, 2020).

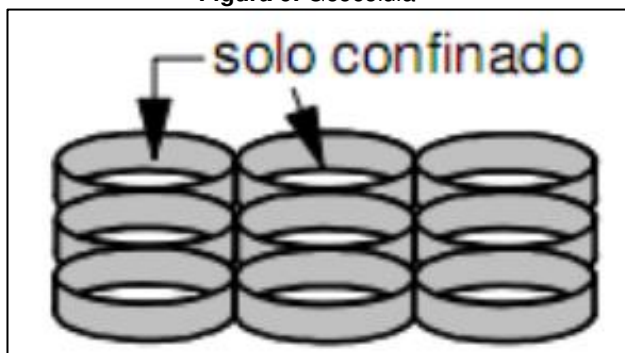
**Figura 5:** Geotêxteis não tecidos



**Fonte:** GEO DIPROTEC (2020)

**Geocélula:** são arranjos tridimensionais relativamente espessos, constituídos por tiras poliméricas. As tiras são soldadas para formar células interconectadas que são preenchidas com solo e, às vezes, concreto. Em alguns casos, faixas de 0,5 a 1m de largura de geogrelhas podem ser ligadas por hastes poliméricas verticais para se formar geocélula mais espessas, também denominadas “geocolchão” (Figura 6).

**Figura 6:** Geocélula



**Fonte:** COSTA et al. (2015)

As Geocélulas (Figura 7) apresentam-se em painéis com estrutura tridimensional, compostos por um conjunto de células contíguas com formato semelhante à de favo de mel. Esse sistema de confinamento celular é constituído de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de alta performance, reforçado com fibras de poliamida e poliéster. As células podem ser preenchidas com solo, areia, brita ou concreto. Suas principais aplicações são o controle de erosão, proteção e revegetação de taludes, reforço de solos moles e revestimento de canais (GEO DIPROTEC, 2020).

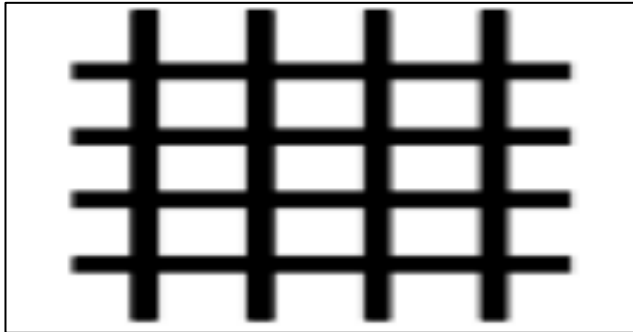
**Figura 7:** Conjunto de células contíguas



Fonte: GEO DIPROTEC (2020)

**Geogrelhas:** são materiais geossintéticos com forma de grelha. A principal aplicação das geogrelhas é em reforço de solos (Figura 8).

**Figura 8:** Geogrelhas



Fonte: COSTA et al. (2015)

As geogrelhas (Figura 9) são fabricadas com alto peso molecular e fios de poliéster de alta tenacidade, e foram desenvolvidas para serem um material de reforço de fácil instalação. Sua malha de abertura possui dimensões estáveis, assegurando que a resistência à tração será mobilizada sem deformação excessiva. Seu uso é predominantemente estrutural como reforço de estruturas de solo e aterros. Contudo, também são usadas para sobre passar vazios que podem se desenvolver sob carregamentos em camadas granulares (estradas e autoestradas) ou sob sistemas de cobertura de aterros sanitários.

**Figura 9:** Geogrelhas

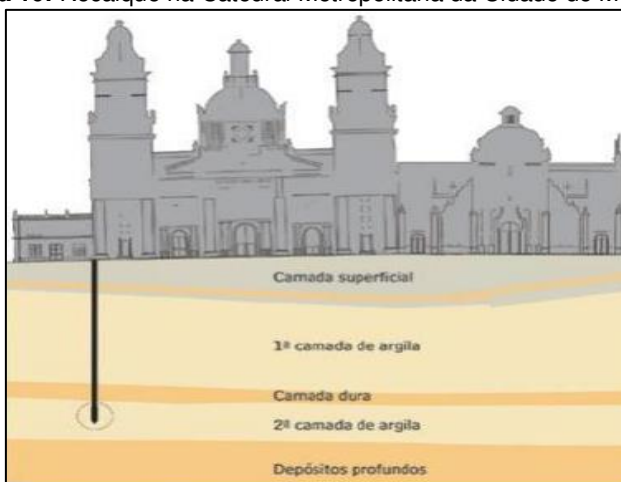


Fonte: GEO DIPROTEC (2020)

## RECALQUES QUE PODEM OCORRER EM OBRAS SOBRE SOLOS MOLES

Os solos moles (argilosos), apresentam alta compressibilidade e por isso estão sujeitos a sofrer recalques por adensamento, durante o processo natural de drenagem da água pelos vazios. Se o processo de adensamento ocorrer de forma homogênea no solo, ocorrerá um recalque total do solo e a estrutura que estiver sobre ele poderá não sofrer maiores problemas. Um exemplo de recalque total em uma estrutura é a Catedral Metropolitana da Cidade do México (Figura 10), ela sofreu recalques de até 2,42 metros entre a torre Oeste e a região do altar mor (SOARES & MELO, 2014).

**Figura 10:** Recalque na Catedral Metropolitana da Cidade do México



Fonte: SOARES & MELO (2014)

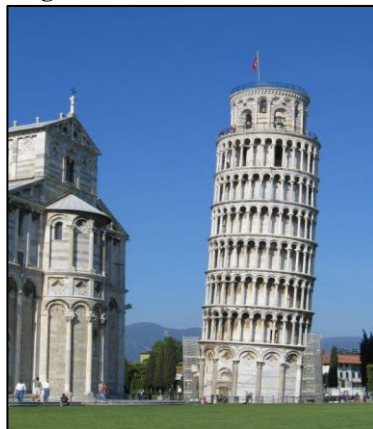
Para este processo de adensamento não ocorra, de forma homogênea no solo, uma parte tiver um recalque maior que a outra, ocorrerá um recalque diferencial que pode gerar danos à estrutura que estiver sobre ele, causando trincas fissuras ou até mesmo levar a ruína da estrutura. Exemplos conhecidos de recalques diferenciais são os prédios da orla de Santos (figura 11) com recalques máximos entre 40 e 120 cm e a Torre de Pisa (figura 12), que antes do processo de restauração ocorrido entre 1990 e 2001, estava com o topo 3,90 metros abaixo de onde ele estaria, se a torre estivesse totalmente na vertical.

**Figura 11:** Paria do Boqueirão, Santos



**Fonte:** SOARES & MELO (2014)

**Figura 12:** Torre de Pisa, Itália



**Fonte:** SOARES & MELO (2014)

Conforme os exemplos apresentados nas figuras 10, 11 e 12, pode-se perceber que o recalque que causa mais problemas é o recalque diferencial, por ele ocorrer de forma não uniforme no solo. No caso dos exemplos citados, os recalques diferenciais causaram uma inclinação na estrutura, o da Torre de Pisa foi amenizado com a injeção de cimento de alta resistência abaixo de sua fundação, técnica que também foi utilizada na Catedral Metropolitana da Cidade do México, onde o recalque foi total e não causou grandes problemas na estrutura. Já no prédio de Santos, existem alternativas para recolocar o prédio no lugar, através do levantamento do prédio com a utilização de macacos hidráulicos e do reforço da fundação com estacas (SOARES & MELO, 2014).

## CONCLUSÃO

Através de uma extensa revisão bibliográfica feita no início desta pesquisa pôde-se conhecer mais um pouco como é o comportamento do solo, para que serve, as mudanças que se pode fazer nele para melhorar sua estabilidade.

Com base no que foi apresentado até então, pode-se concluir que as obras em aterros dispõem de variadas possibilidades de soluções para estabilização de solos; seja ela estabilização física, mecânica, químicas ou a combinação entre elas, do mesmo modo que possuem muitas opções de estabilizantes químicos que podem ser usados. Na prática é comum executar mais de um tipo de estabilização ao mesmo tempo, sendo a compactação junto a correção granulométrica; a adição de estabilizantes químicos e a compactação; ou até mesmo a combinação dos três métodos juntos.

As técnicas de estabilização se diferenciam pela forma com que interagem e reagem com o solo, no entanto, todas têm o propósito de mudar as propriedades e características do solo disponível no local, com a finalidade

de melhorar a sua resistência e capacidade de carga, para adequá-lo às especificações de projeto. Desta forma, a escolha do tipo de estabilização de solo a ser utilizada depende basicamente da viabilidade econômica e de quesitos técnicos como as particularidades da obra e do projeto; do tipo de solo disponível; volume de corte e aterro; distância de transporte das jazidas, caixas de empréstimos e bota-foras.

Os geossintéticos são materiais em aplicação crescente na Engenharia Civil, e particularmente em obras geotécnicas. A facilidade de aplicação, o baixo custo e a versatilidade destes materiais quando comparados com metodologias e materiais tradicionais, torna-os materiais de construção atraentes, justificando assim o aumento progressivo da sua utilização.

Sintetizando o uso de geossintéticos pode permitir diminuir volumes totais de aterros em taludes, estradas, rodovias, e resolver muitos problemas hidráulicos, pode substituir ou complementar materiais convencionais como pedras que são caros e possui muitas deficiências em logística, com isso, pode-se reduzir prazos de obras, assim como reduzir custos comparados às soluções convencionais.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ALMEIDA, M. S. S., MARQUES, M. E. S., **Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho**, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

ARRIVABENI, B. S. **Alternativas para estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gérias, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15115. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.

BRITO, L. C.; PARANHOS, H. da S. **Estabilização de Solos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, setembro de 2017. ISSN:2448-0959.

COSTA, A. H. da; LOPES, G. A.; SOUSA, L. B.; PIMENTEL, L. A. S. **Versatilidade dos Geossintéticos aplicada a engenharia**. XII SEGeT,



Simpósio de Excelencia em Gestao e Tecnologia. Resende, Rio de Janeiro, 2015.

GEO DIPROTEC. **Geossintéticos: Geotêxteis - tecidos**. 2020. Disponível em: <http://www.diprotecgeo.com.br/produtos/geotextil-tecido/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

GEO DIPROTEC. **Geossintéticos: Geotêxteis – não tecidos**. 2020. Disponível em: <http://www.diprotecgeo.com.br/produtos/geotextil-nao-tecido/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

GEO DIPROTEC. **Geossintéticos: Geocélula**. 2020. Disponível em: <http://www.diprotecgeo.com.br/produtos/geocelula/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

GEO DIPROTEC. **Geossintéticos: Geogrelha**. 2020. Disponível em: <http://www.diprotecgeo.com.br/produtos/geogrelha/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

LITTLE, D. N. **Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime**, Published by Kendall/Hunt Publishing Company. 1995.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review**. Sweden: Lulea University of Technology, 2013.

MARTINS, I. S. M., ABREU, F. R. S., **Uma solução aproximada para o adensamento unidimensional com grandes deformações e submersão de aterros**, Revista Solos e Rochas, São Paulo, v. 25, p. 3-14, 2002.

MEDINA, J. de; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

MORAES, C. M. de. **Aterros Reforçados sobre Solos Moles – Análise Numérica e Analítica**. Dissertação do Programa de Pós-graduação de engenharia da UFRJ. Rio de Janeiro, 2002.

MOUSAVI, S. E., KARAMVAND, A. **Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and silica sand**. Journal of Traffic and Transportation Engineering, (English Edition), JTTE: 142, 2017, doi: 10.1016/j.jtte.2017.02.002.

PALMEIRA, E. M. **Aterros Reforçados com Geossintéticos Sobre Solos Moles**. In: Geossintéticos, v.2, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1999.

PINTO, A. R. A. G. **Fibras de Curauá e sisal como reforço em matrizes de solo**. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2008.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3.ed São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 353 p.il.

RODRIGUES, K. H. de P. **Estudo de estabilização granulométrica de solos utilizando rejeito de mineração**. Programa de Pós-graduação em Geotecnia da EFOP, Ouro Preto, 2018.

SANTANNA, J. A. **Estudo do comportamento de solos artificiais em função da variação das características de sua fração grossa**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SANTOS, M. N. dos. **Análise do Efeito de Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra**. Monografia do Curso de Engenharia Civil. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. vol. 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.

SOARES, M. R.; MELO, T. M. de. **Aterro estaqueado sobre solo mole – Estudo de Caso**. Monografia Graduação de Engenharia Civil. DOCTUM. Minas Gerais, 2014.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**, Ed. McGraw Hill, SP, 1985.

VILLIBOR, D. F. **Estabilização Granulométrica ou Mecânica**. GRÁFICA EESC – USP, São Carlos, SP, 1982.

VIZCARRA, G. O. C. **Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano Para Base de Pavimentos**. Monografia do Curso de Engenharia Civil. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2010.