

ANÁLISE FÍSICA DA MISTURA DE SOLO NATURAL COM AREIA MÉDIA, PARA EMPREGO EM ATERROS DE OBRAS CIVIS.

Luiz Humberto de Freitas Souza (UNIUBE) E-mail: luizhumbertofsouza@gmail.com

Bruna de Souza Leite (UNIUBE) E-mail: brunasl1@yahoo.com.br

Resumo: Neste trabalho foi estudada a utilização da areia como forma de estabilização de um material de baixa qualidade que é o solo do tipo silte argiloso. A estabilização de solos é um método bastante eficaz que tem como objetivo melhorar algumas características do solo sem ter que realizar a troca do mesmo, assim evitando maiores custos e garantindo a segurança da edificação. Esta pesquisa teve como objetivo principal, analisar o Índice de Suporte Califórnia (I.S.C) de uma amostra de solo natural e de uma amostra estabilizada com 30% de areia média lavada, esse índice de suporte Califórnia significa a capacidade de suporte que um solo compactado pode obter. Essa análise foi possível através dos ensaios realizados de acordo com as normas da ABNT. Os resultados mostraram que adição da areia para o reforço do solo silte argiloso influenciou positivamente no aumento I.S.C.

Palavras-chave: Estabilização de solo, Índice de Suporte Califórnia, silte argiloso.

PHYSICAL ANALYSIS OF THE MIXTURE OF NATURAL SOIL WITH MEDIUM SAND, FOR USE IN LANDFILLS OF CIVIL WORKS

Abstract: In this work, the use of sand as a way of stabilizing a low quality material that the soil type is clayey silt. Soil stabilization is a very effective method that aims to improve some characteristics of the soil without having to perform exchange for the same, thus avoiding higher costs and ensuring the security of the building. Research is aimed to analyze the California Bearing Ratio (C.B.R) of a sample of natural soil and a sample stabilized with 30% medium sand washed, California bearing ratio this means the ability to support a compacted soil can get. This analysis was made possible by the tests carried out according to the ABNT. The results showed that the addition of sand to silt clay soil reinforcement positively influenced increase in C.B.R.

Keywords: Soil Stabilization, California Bearing Ratio, clayey silt.

1. INTRODUÇÃO

A estabilização de um solo é de extrema importância em diversos ramos da engenharia. Na engenharia rodoviária este processo confere maior resistência ao pavimento para que ele possa suportar as cargas e os esforços que são induzidos pelo tráfego. Já em obras de construção civil a estabilização é importante para os aterros, para que eles se tornem firmes o suficiente para receber as cargas da estrutura. A maioria das obras de engenharia civil tem como base o solo e por isso é importante a análise de seu comportamento.

Segundo Vargas (1977, p.94) estabilizar o solo é proporcionar a ele uma maior resistência tanto em relação às cargas, quanto em relação aos desgastes e a erosão. Esse procedimento pode ser bastante benéfico no caso de materiais que tem uma baixa qualidade de serventia.

Para realizar uma estabilização de solo o primeiro passo é a escolha da característica que necessita ser melhorada. Essa opção deve ser levada em consideração no momento da análise. Outra consideração importante é o tipo de solo, em função da heterogeneidade desse material.

O processo é escolhido de acordo com a propriedade deficiente do solo, sendo então dividido em quatro grupos: estabilização mecânica, granulométrica, química e física.

A estabilização mecânica tem como função o arranjo das partículas através de uma energia de compactação e uma umidade designada ótima. A granulométrica prevê a organização das partículas por meio da melhor interação entre o tamanho dos grãos do solo. Já na estabilização química, procura-se melhorar a resistência ao cisalhamento, com a adição de pequenas quantidades de resinas, cimento, cal, entre outros materiais de propriedades ligantes. E por último, não menos importante, mas menos utilizado, é a estabilização física que tem como principal objetivo a alteração das propriedades do solo utilizando tratamentos térmicos.

A estabilização granulométrica pode ser realizada com uma adequada análise da distribuição das diversas amostras de diâmetro dos grãos, em outras palavras, pode ser conseguida com um melhor arranjo entre as partículas de solo. Assim a distribuição das porções de tamanhos diferentes pode ter os vazios preenchidos por grãos menores, tornando a assim o conjunto mais denso, resistente e impermeável.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a estabilização de um solo silte argiloso. Mais especificamente, pretende-se: realizar a caracterização do solo natural; estudar as informações obtidas em laudo técnico; utilizar a dosagem de 30% de areia para aplicação do método de estabilização granulométrica de solos e por fim; avaliar a empregabilidade do solo natural e do solo com 30% de areia média lavada, para aterro compactado.

2. MECÂNICA DOS SOLOS

A definição da palavra solo é um pouco mais complexa do que se pensa, uma vez que a mesma pode ter mais de um significado dependendo da finalidade para qual será submetido. Para um agricultor, solo são frações de materiais derivados da crosta terrestre e que suportam o sistema radicular das plantas. Para um geólogo, solo é o produto do intemperismo das rochas, situadas na parte superficial do manto, constituído de material rochoso decomposto.

Para os engenheiros civis os conceitos são diferentes comparados aos citados. De acordo com Soares, Pinheiro e Tavares (2006, p.1), solo é um conjunto de partículas naturais, provenientes da decomposição das rochas que originalmente, constituíam a crosta terrestre, não oferece resistência à escavação mecânica e que perde totalmente a solidez, quando em contato prolongado com água. Para Vargas (1977, p.4), este material também serve como base para arrimos, escavações e perfurações nas obras de engenharia.

Pode-se dizer que o solo é o material de construção mais antigo utilizado pelo homem e isto pode ser comprovado por meio das construções remanescentes do passado. Ele é encontrado com frequência nas obras e devido a sua importância como base de apoio para estruturas de fundação, torna-se fundamental o conhecimento de suas propriedades para que se possa prever seu desempenho diante das solicitações impostas.

2.1 Origem dos solos

Os solos são formados a partir da decomposição das rochas em decorrência da ação de agentes intempéricos que por sua vez, podem ser classificados como agentes do intemperismo físico, químico e biológico. Para Soares, Pinheiro e Tavares (2006, p.2) as variações de temperatura, alívio de pressões, crescimento de cristais, hidratação dos minerais, oxidação, carbonatação, lixiviação, entre outros, induzem a formação dos solos.

No final do processo de intemperismo, o material poderá permanecer ou não sobre a rocha que lhe deu origem. Ainda de acordo com Soares, Pinheiro e Tavares (2006, p.2) os materiais que estão sobre a “rocha mãe”, são definidos como solos residuais. Aqueles que são transportados por alguma ação da natureza, como água, vento, gelo, gravidade, entre outras,

são denominados solos transportados ou sedimentares. Quando a principal característica é a matéria orgânica incorporada, são designados solos orgânicos.

2.2 Tamanho das partículas

O tamanho dos grãos tem uma enorme diferença, porém, em um contanto inicial, esta observação pode não ser identificada facilmente pelo fato de todos parecem muito pequenos, mas mesmo assim existem alguns que são menores que os outros (PINTO 2006, p.15).

Em um solo pode haver uma variedade considerável de partículas distintas o que pode dificultar a identificação do tamanho dos grãos, pelo simples manuseio.

As denominações específicas são para diversas faixas de tamanho de grãos. Segundo Caputo (1978, p.27) as frações que compõem os solos recebem definições de acordo com as dimensões dos grãos.

Porém estas definições possuem variações dependendo do sistema de classificação utilizado. É o caso de algumas classificações adotadas pela American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), American Association for State Highway and transportation officials (A.A.S.H.T.O.) e Massachusetts Institute of Technology (M.I.T).

2.3 Índices físicos dos solos

O solo é constituído por agregados de partículas de tamanho diversos entre os quais há vazios chamados de poros que são ocupados por água e ar. Sendo assim o solo é um sistema disperso composto por três fases: sólida, líquida e gasosa (SOARES, PINHEIRO E TAVARES, 2006, p.3). A fase sólida é constituída por partículas minerais, a fase líquida por água e a fase gasosa é composta por todo o ar existente nos espaços entre as partículas (SOARES, PINHEIRO E TAVARES, 2006, p.3).

Os índices obtidos em laboratório e as relações apresentadas a seguir, cumprem uma importante função no estudo das propriedades dos solos, uma vez que estas dependem dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles. (CAPUTO, 1978, p 41).

- ✓ **Teor de umidade (w):** é a umidade de um solo definida como a razão entre o peso de água contida em um determinado volume de solo e o peso das partículas sólidas.
- ✓ **Índice de vazios (e):** é a razão entre o volume de vazios e o volume ocupado pela parte sólida do solo. Pode ser determinado também em função do peso específico das partículas do solo e o peso específico aparente seco.
- ✓ **Peso específico aparente natural (γ):** é a razão entre o peso total e o volume total da amostra.
- ✓ **Peso específico aparente seco (γ_s):** é a relação entre o peso dos sólidos e o volume total da amostra.
- ✓ **Grau de saturação (S):** é a porcentagem volumétrica de água existente nos vazios de um solo. E pode ser definido como a relação entre o volume de água e o volume de vazios.
- ✓ **Porosidade (η):** é a relação entre o volume dos vazios e o volume total da amostra de um solo, expresso em porcentagem.
- ✓ **Peso específico saturado (γ_{sat}):** é o peso específico do solo que pode ficar saturado sem que ocorra a variação de volume. Ele pode ser definido como a relação entre o peso total da amostra e o volume total, com a condição de grau de saturação igual a 100%.
- ✓ **Peso específico da água (γ_w):** é a relação entre o peso de água e seu respectivo volume.

- ✓ **Peso específico aparente submerso:** quando a camada de solo esta abaixo do nível freático é correspondente ao peso específico natural menos o peso específico da água.
- ✓ **Densidade real dos grãos (γ_s):** é a relação entre o peso específico real dos grãos e peso específico da água a 4°C.

De acordo com Soares, Pinheiros e Tavares só as definições ente os índices físicos não são práticos na utilização em cálculos, por isso são necessárias fórmulas de correlação.

As equações apresentadas no Quadro 1 são amplamente empregadas nas análises laboratoriais realizadas em Mecânica dos Solos.

Quadro 1 – Fórmulas de correlação entre os índices físicos.

FÓRMULAS DE CORRELAÇÃO	
Peso específico natural	$\gamma = W/V$
Teor de umidade	$w = (W_w/W_s)$
Peso específico real dos grãos	$\gamma_s = (W_s/V_s)$
Peso específico aparente seco	$\gamma_d = W_s/V = \gamma/(1 + w)$
Índice de vazios	$e = V_v/V_s = (\gamma_s/\gamma_d) - 1$
Porosidade	$n = V_v/V = e/(1 + e)$
Grau de saturação	$S = V_w/V_v = (w \cdot \gamma_s)/(e \cdot \gamma_w)$
Peso específico saturado	$\gamma_{sat} = W_{sat}/V = (1 - n) \cdot (\gamma_s + n \cdot \gamma_w)$
Peso específico submerso	$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (1 - n)$

Fonte: Soares, Pinheiro e Tavares (2006).

Onde:

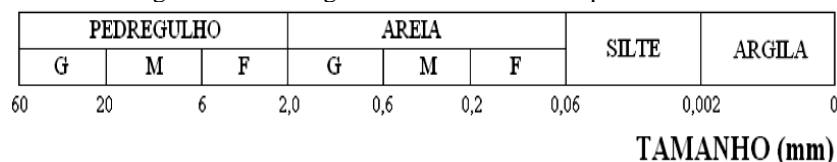
W = Peso total da amostra
 V = Volume total da amostra
 Ww = Peso da água
 Ws = Peso dos sólidos

Vv = Volume de vazios
 Vs = Volume de sólidos
 Vw = Volume de água

2.4 Granulometria dos solos

A importância do tamanho das partículas para a distinção dos vários tipos de solo e os diferentes tipos de escalas para determinação da sua granulometria, já foram mencionados no item 2.2. Destaca-se, no entanto, a escala granulométrica empregada pela ABNT. A Figura 1 apresenta esta classificação.

Figura 1 – Escala granulométrica utilizada pela ABNT.



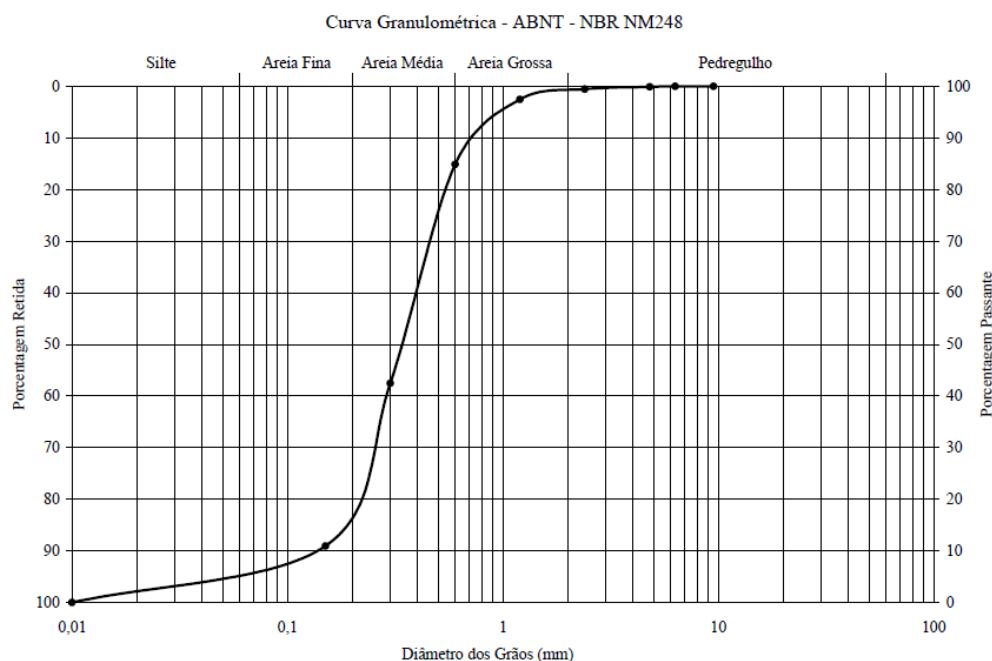
Fonte: Soares, Pinheiro e Tavares (2006).

A análise granulométrica é a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram (CAPUTO, 1988, P.25). As distribuições dos tamanhos das partículas são geralmente obtidas por dois métodos.

Para materiais granulométricos com partículas maiores que 0,074 mm de diâmetros, que é o caso de areias e pedregulhos, este método será o ensaio de peneiramento. Porém para solos granulométricos com partículas inferiores a 0,074 mm que são os siltes e as argilas, o método realizado é o ensaio de sedimentação. Estes ensaios são regulamentados pela ABNT NBR 7181/1988 (Solo – Análise Granulométrica).

Segundo Caputo (1988, p 25), a distribuição granulométrica (Figura 2) é representada pela curva granulométrica. Esta curva é esboçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, sendo marcadas as dimensões das partículas dadas pela abertura da malha das peneiras no eixo das abscissas e as porcentagens que são representadas em peso de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada, no eixo das ordenadas.

Figura 2 – Exemplo de curva de distribuição granulométrica de um solo.



Fonte: Soares, Pinheiro e Tavares (2006)

A curva de distribuição granulométrica mostra não apenas os tamanhos das partículas presentes em solo, mas ainda o tipo de solo e a distribuição de partículas de dimensões variadas.

2.5 Ensaio táctil visual

Outra forma de conseguir a classificação do solo são alguns testes rápidos que podem ser feitos no próprio campo e que permitem uma descrição e identificação do material. Segundo Silva (2009, p.09) estes testes são:

A sensação ao tato, pois ao esfregar uma mão contra a outra com uma pequena quantidade da amostra é capaz identificar se há quantidade de areia ou argila nesta porção, pois as areias são bastante ásperas ao tato, já as argilas dão uma sensação de farinha quando secas e quando úmidas dão sensação de sabão.

Pela plasticidade do solo também é possível saber se há quantidades de areias, argilas ou siltes na sua composição. Essa identificação é feita no momento em que se tenta moldar pequenos cilindros com o solo úmido, quando consegue moldar esses cilindros, pode se dizer que esse solo tem mais argila, já que as argilas são moldáveis e as areias e os siltes não são.

A resistência do solo seco também é importante, pois ao tentar desagregar um torrão de argila com os dedos este oferecerá uma elevada resistência. Os siltes também oferecem resistência ao destorroamento, porém esta é com menor intensidade, e as areias por sua vez nem chegam a criar torrões.

Pela mobilidade dá água também é capaz de fazer essa identificação rápida do solo, ao colocar uma quantidade de amostra do material úmido na palma da mão e bater a mesma contra a outra mão, é fácil verificar o aparecimento dá água na parte superior da amostra. Nas

areias á água aparece rapidamente na superfície e no momento que se abre a mão a superfície brilhante desaparece deixando fissuras. Já nos solos argilosos a superfície brilhante permanece por mais tempo e as fissuras não ocorrem no momento que se abre a mão.

2.6 Limites de Atterberg

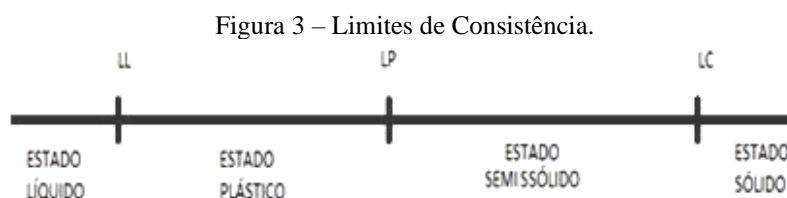
Somente as distribuições granulométricas não caracterizam bem o comportamento dos solos sob o ponto de vista da engenharia. As frações finas dos solos tem uma importância muito grande neste comportamento (PINTO, 2000, p.12).

Segundo Das (2013, p.63), os limites de consistência foram estudados pelo engenheiro Atterberg em 1908, para caracterizar as mudanças entre os estados de consistência. Posteriormente Arthur Casagrande adaptou para a mecânica dos solos o procedimento proposto por Atterberg, para descrever a consistência com grãos finos e teor de umidade variável.

Para Pinto (2000, p.13), os limites se baseiam na ideia de que um solo argiloso tem aparência bem distinta conforme o seu teor de umidade. Quando ele fica muito úmido, o solo se comporta como um líquido, porém, quando ele perde parte da água que compõem sua estrutura ele tem um comportamento plástico, e quando ele está mais seco torna-se quebradiço.

De acordo com Das (2013, p.63), dependendo do teor de umidade de cada solo ele pode ser dividido arbitrariamente em quatro estados básicos, sendo eles: sólido, semissólido, plástico e líquido. Estes teores de umidade correspondem aos limites de consistência e nas suas transições são definidos como limite de contração (sólido para semissólido), limite de plasticidade (semissólido para plástico) e limite de liquidez (plástico para líquido). Esses teores são determinados por meio de ensaios laboratoriais.

A Figura 3 ilustra esquematicamente esses estados de consistência.



Fonte: Caputo (1978, p.61).

2.7 Sistema de classificação TRB (Transportation Research Board)

Nesta classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função da sua granulometria e plasticidade. Um parâmetro adicionado nesta classificação é o índice de grupo (IG), representado por um número inteiro que varia de 0 a 20, baseado nos limites de Atterbeg (Limite de liquidez e Índice de plasticidade) do solo e no percentual passante na peneira 0,074mm (n°200). Este índice define a capacidade de suporte do terreno.

IG = 0 são considerados solos ótimos para subleito enquanto IG = 20, solos péssimos. Seu valor pode ser determinado pela Equação 1:

$$IG = (0,2 \cdot a) + (0,005 \cdot a \cdot c) + (0,01 \cdot b \cdot d)$$

(Equação 1)

Onde:

a = porcentagem do solo que passa na peneira n° 200, menos 35%. Se o valor de “a” for negativo adota-se zero, se for superior a 40 adota-se este valor como limite máximo.

b = porcentagem do solo que passa na peneira nº 200, menos 15%. Se o valor de “b” for negativo adota-se zero, se for superior a 40 adota-se este valor como limite máximo.

c = valor do limite de liquidez menos 40. Se o valor de “c” for negativo adota-se zero, se for superior a 20 adota-se este valor como limite máximo.

d = valor índice de plasticidade menos 10. Se o valor de “d” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo.

Os solos são classificados em sete grupos, de acordo com a granulometria (peneiras de nº 10, 40, 200) e de conformidade com os intervalos de variação dos limites de consistência e índice de grupo.

De acordo com o Quadro 2 os solos se dividem em solos granulares que compreendem os grupos A-1, A-3 e A-2, e solos finos que compreendem os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, sendo os grupos A-1, A-2 e A-7 divididos em subgrupos.

Quadro 2 – Sistema de Classificação TRB.

Classificação Geral	SOLOS GRANULARES (P200 < 35%)						SOLOS SILTO-ARGILOSOS (P200 > 35%)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5 A-7-6
P10	< 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	< 30	< 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-
P200	< 15	< 25	< 10	< 35	< 35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-	-	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40
IP	< 6	< 6	NP	< 10	< 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas			Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a bom						Regular a mau			
Podemos acrescentar à estes o tipo A-8 solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos										

Fonte: Almeida (2005).

3. COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Os solos que são utilizados nos aterros de obras de terraplenagem, são os que mais precisam de atenção quando o assunto é compactação, pois esse processo determina não só a densidade e resistência para o aterro, mas também a estabilidade do mesmo (VARGAS, 1977, p.47).

O engenheiro norte-americano Ralf Proctor em 1933 publicou vários artigos sobre o controle da compactação. Sua contribuição foi uma das mais importantes para os princípios da Mecânica dos Solos, pois possibilitou a análise da umidade do solo no momento da compactação (VARGAS, 1977, p.48).

Segundo Pinto (2006, p.77), ao se compactar um solo com baixa umidade, o atrito entre as partículas é muito elevado, fazendo com que a compactação seja pouco eficiente. Dessa forma a redução dos vazios presentes no material é incapacitada. Já em uma compactação com uma umidade denominada ótima, o efeito de lubrificação que a água provoca entre as partículas torna-se importante para que as mesmas deslizem umas sobre as outras e se acomodem mais facilmente, reduzindo os vazios e aumentando a densidade.

3.1 Ensaio de Proctor Normal

A umidade ótima se dá no instante em que se atinge o peso específico máximo de um determinado solo. É obtido através de um ensaio de compactação designado “Ensaio de Proctor”, regulamentado pela ABNT NBR 7182/1988 (Solo - Ensaio de compactação).

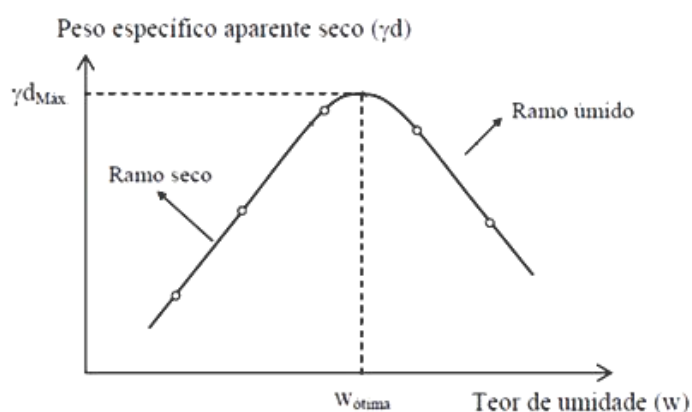
Estando a amostra devidamente seca até a umidade higroscópica, inicia-se o ensaio acrescentando água destilada até presumir que a amostra esteja com 5% de umidade abaixo da umidade ótima. Em seguida é colocada uma porção do solo em um cilindro de volume conhecido (diâmetro 10 cm, altura 12,73 cm e volume 1000 cm³). Essa porção será

compactada em três camadas submetidas a 26 golpes de soquete, com peso 2,5 kgf, caindo de uma altura 30,5 cm, a cada camada.

Ao concluir essa fase, o conjunto cilindro + solo é pesado, descontando-se o peso do cilindro e determinando assim o peso úmido do solo. Repete-se o ensaio até obter cinco determinações de umidade.

Com as determinações de diferentes umidades, é possível traçar uma curva de compactação que consiste na representação do peso específico aparente seco em função do teor de umidade. A Figura 4 mostra um exemplo de curva de compactação.

Figura 4 – Exemplo de curva de compactação.



Fonte: Soares, Pinheiro e Tavares (2006).

3.2 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (I.S.C) ou C.B.R (Califórnia Bearing Ratio)

O objetivo do ensaio I.S.C é a determinação da capacidade de suporte que um solo compactado pode obter. Este ensaio é normatizado pela ABNT NBR 9895/1987 (Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio).

Segundo Greco (2012, p.1) o ensaio consiste na determinação da relação da pressão que é capaz de penetrar um pistão em um corpo de prova de solo e a pressão que consegue a mesma penetração em uma mistura padrão de brita graduada. Essa relação é expressa em porcentagem.

De acordo com a ABNT NBR 9895/1987 o ensaio deve ser realizado com uma quantidade mínima de 50 kgf de material e o mesmo deve ser preparado de acordo com a ABNT NBR 6457/1986 (Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização). Basicamente, o ensaio é dividido em três etapas.

A primeira etapa refere-se à compactação do corpo de prova, a determinação da umidade ótima e do peso específico aparente seco máximo da amostra. Essa etapa é realizada de acordo com o ensaio de compactação, onde são compactados no mínimo cinco corpos de prova para teores crescentes de umidade, empregando-se uma energia de ensaio predeterminada, especificada no Quadro 3.

Quadro 3 – Energias de compactação.

Energias de Compactação para o ensaio de I.S.C soquete grande (4,50 kg)		
Energia	Número de Camadas	Golpes por camadas
Normal	5	12
Intermediário	5	26
Modificado	5	55

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7182 (1988, p.06).

A determinação das propriedades expansivas do material é realizada na segunda etapa. Após obter os cinco corpos de prova no ensaio de compactação são necessários utilizar os três intermediários, ou seja, utilizar o corpo de prova de solo que obteve a umidade ótima, obter o corpo de prova anterior e posterior. Nesse momento é colocado nos corpos de provas extensômetros, que após a primeira leitura imergem-se as amostras em um tanque, onde as mesmas devem permanecer por quatro dias. As leituras devem ser rigorosamente feitas a cada 24 horas. Concluído esse período retiram-se os corpos de prova da imersão e escorre a água por 15 minutos. A partir deste momento os corpos de provas estão prontos para a última etapa.

A terceira etapa é responsável pela determinação do Índice de Suporte Califórnia. Nesta fase é realizada a penetração na amostra. Após posicionar no topo de cada corpo de prova as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão, coloca-se o conjunto no prato da prensa e aplica-se uma carga de aproximadamente 45 N. Esse processo deve ser acompanhado pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. A seguir, zera-se o extensômetro do anel dinamométrico e o extensômetro que mede a penetração do pistão do solo. Aciona-se a manivela da prensa com velocidade constante de 1,27 mm/mim. As leituras obtidas no extensômetro do anel é função da penetração em um determinado tempo e esse tempo também é especificado para o ensaio.

De acordo com a ABNT NBR 9895/1987 a prensa é composta por:

- ✓ Anel de aço, com dispositivo para fixação no entalhe da travessa;
- ✓ Extensômetro graduado em 0,001 mm, fixado ao centro do anel para medir o encurtamento diametral;
- ✓ Pistão de penetração de aço, com 4,96 cm de diâmetro e com altura de 19 cm, fixado à parte inferior do anel;
- ✓ Extensômetro graduado em 0,01 mm, fixado lateralmente ao pistão, de maneira que seu pino apoie na borda superior do molde;
- ✓ Macaco de engrenagem, de operação manual por movimento giratório de uma manivela, com eixos de duas velocidades. A primeira para aplicação da força durante o ensaio com deslocamento padrão de 1,27mm/min e a outra para retornar o pistão. Também é acompanhado de um prato reforçado e ajustável ao macaco, com função de suportar o molde, com diâmetro de 24 cm.

Os outros itens que não fazem parte da composição da prensa, mas que são necessários para realização do ensaio são:

- ✓ Cronômetro para o acompanhamento do tempo sugerido pela norma
- ✓ Discos anelares de aço para sobrecarga. Essa sobrecarga corresponderá a do pavimento e não poderá ser inferior a 4,5 kgf.

O Quadro 4 apresenta uma sugestão de norma. Através destas leituras e da curva de aferição do anel dinamométrico é possível obter as cargas atuantes no pistão e assim, ao dividir pela sua área, obtêm-se as pressões aplicadas às amostras.

Quadro 4 – Tempo e penetração sugeridos para CBR.

ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - I.S.C										K Aparelho =		
TEMPO (min)	Penetração		PRESSÃO PADRÃO (kg/cm ²)	Leituras no extensômetro (mm)			Pressão C (kg/cm ²)			ISC %		
	mm	Pol		Cp1	Cp2	Cp3	Cp1	Cp2	Cp3	Cp1	Cp2	Cp3
0,5	0,63	0,025	-									
1,0	1,27	0,050	-									
1,5	1,9	0,075	-									
2,0	2,54	0,100	70									
3,0	3,81	0,150	-									
4,0	5,08	0,200	105									
6,0	7,62	0,300	132									
8,0	10,16	0,400	161									
I.S.C ADOTADO												

Fonte: Adaptado da DNER – ME049-1994.

Portanto, o Índice de Suporte Califórnia é o valor de pressão correspondente ao tempo de 2 minutos e penetração de 2,54 mm (0,1”), a não ser que o valor de pressão corresponde a 4 minutos e penetração de 5,08mm (0,2”) seja maior.

4. METODOLOGIA

No presente trabalho foram desenvolvidos ensaios com o propósito de avaliar o solo, e assim definir a característica com necessidade de melhora, a fim de possibilitar seu uso em aterros de obras civis.

Para entendimento dos ensaios e da própria estabilização granulométrica, foram empregadas normas da ABNT, artigos, monografias, dissertações, relatórios de aulas práticas, dentre outros documentos complementares. A coleta de solo natural para as análises ocorreu em um local predeterminado no perímetro urbano da cidade de Uberlândia/MG. Logo após, foi realizado um ensaio tátil visual do material selecionado e definido, a priori, como um solo silte argiloso. Foram coletados 105 kg de solo para ensaios de caracterização. Em laboratório foram definidas duas situações. A primeira denominada AS-1, composta unicamente por solo natural e a segunda nomeada AS-2, referente a mistura de solo natural com adição de 30% de areia média lavada.

4.1 Amostra AS-1

A amostra AS-1 é uma amostra deformada de solo natural. Para que fosse possível saber a qualidade desse material e confirmar o resultado do ensaio tátil visual, foram realizados ensaios capazes de classificar o solo como bom ou ruim para aterros de obras civis.

Abaixo estão citados os ensaios e procedimentos pelos quais a amostra AS-1 foi submetida.

1. Preparo da amostra de acordo com a ABNT NBR 6457/1986. Esta norma descreve a preparação de amostras para os ensaios de caracterização e de compactação.

2. Caracterização da amostra AS-1 por meio dos ensaios de Granulometria regido pela ABNT NBR 7181/1988, ensaio de Limite de Liquidez normatizado pela ABNT NBR 6459/1984 e o ensaio de Limite de Plasticidade conforme a ABNT NBR 7180/1988;

3. Com os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização foi calculado o I.G (Índice de Grupo).

4. Após obter o I.G, a amostra foi classificada de acordo com sistema de classificação TRB;

5. Realizou-se o ensaio de Proctor para determinar a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo. Este ensaio de compactação foi realizado utilizando energia de compactação normal e sem reuso da amostra (ABNT NBR 7182/1988);

6. Por fim, foi realizado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia de acordo com a ABNT NBR 9895/1987.

Nos ensaios de caracterização de solo foi utilizado 2 kg da amostra AS-1, e para a realização do ensaio de compactação, expansão e I.S.C foram necessários 50 kg.

4.2 Amostra AS-2

Amostra AS-2 é uma amostra de solo natural com adição de 30% de areia média lavada. Essa modificação teve como objetivo o melhoramento do I.S.C do material.

Porém, para avaliar se realmente houve a melhora dessa característica, a mesma também passou por alguns ensaios, os quais são citados abaixo.

1. Preparo da amostra de acordo com a ABNT NBR 6457/1986;
2. Realização do ensaio de Proctor de acordo com a ABNT NBR 7182/1988;
3. Realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia regido pela ABNT NBR 9895/1987.

Foram utilizados 50 kg da amostra AS-2 para realização do ensaio de compactação, expansão e I.S.C.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por meio dos ensaios realizados com as duas amostras – AS-1 e AS-2 – foi possível obter os resultados apresentados a seguir.

5.1 Caracterização do solo da amostra AS-1

A caracterização física da amostra AS-1 foi obtida através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade (Tabela 1). Por meio dos resultados dos ensaios citados foi possível classificar amostra conforme a TRB.

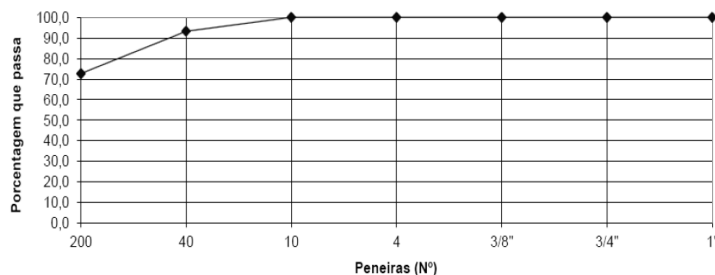
Tabela 1 – Caracterização física da amostra AS-1.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA AMOSTRA AS-1					
Ensaio de Granulometria					
n.º	(mm)	Peso Retido (g)	% Menor N.º 10	% Acumulada	% Passante da amostra Total
N.º 4	4,8	0	0	0	100,0
N.º 10	2,0	0	0	0	100,0
N.º 40	0,42	5,94	6,7	6,7	93,3
N.º 200	0,074	18,13	20,6	27,3	72,7
Limite de Liquidez - LL					
Umidade (%)	25,2	26,1	27,3	29,2	30,8
N.º de Golpes	43	34	26	18	10
LL = 28,0					
Limite de Plasticidade - LP					
Umidade (%)	13,6	14,4	13,6	14,6	14
LP = 14,0					
Índice de Plasticidade - IP					
IP(LL-LP) = 14,0					
Índice de Grupo - IG					
IG=9					

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

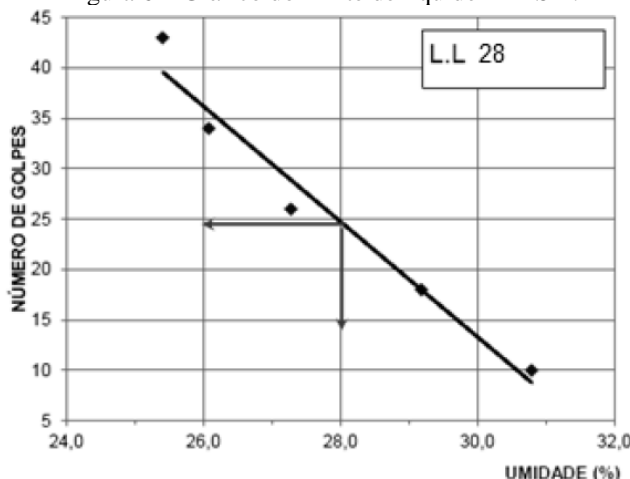
A Figura 5 apresenta a curva granulométrica da amostra AS-1 e a Figura 6 o gráfico que foi gerado para o limite de liquidez da amostra AS-1.

Figura 5 – Curva granulométrica – AS-1.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Figura 6 – Gráfico do limite de liquidez – AS-1.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

A classificação TRB da amostra AS-1 é do tipo A-6 (Solos Argilosos) com IG = 9. Esses solos são definidos como solos regulares ou de má qualidade para a utilização em subleito.

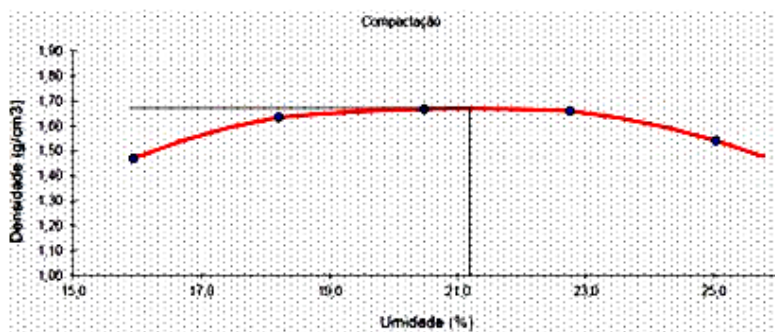
Para realizar o ensaio de Índice de Suporte Califórnia, a amostra AS-1 teve que ser submetida a uma caracterização mecânica para obtenção da umidade ótima do solo e o peso específico aparente seco máximo. Esses resultados estão representados na Tabela 2 e o gráfico da curva de compactação representado na Figura 7.

Tabela 2 – Caracterização mecânica AS-1.

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO AMOSTRA AS-1								
Umidade Calc. (%)	15,9	18,2	20,5	22,8	25	UMIDADE HIGROSCÓPICA		
Água Adicionada (%0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	Nº Capsula	14,0	22,0
Nº Cilindro	4	24	26	27	35	Capsula + Solo Umido (g)	114,75	109,38
Cilindro + Solo Umido (g)	7790	8225	8435	8340	8200	Capsula + Solo Seco (g)	102,58	97,84
Peso do Cilindro (g)	4244	4182	4252	4090	4210	Peso da Água (g)	12,17	11,54
Solo Umido (g)	3546	4043	4183	4250	3990	Tara da Capsula (g)	13,64	13,24
Volume do Cilindro (cm³)	2080	2090	2080	2084	2070	Peso do Solo Seco (g)	88,94	84,6
Densidade Umida (g/cm³)	1,705	1,934	2,011	2,039	1,928	Teor de Umidade (%)	13,7	13,6
Água Adicionada (g)	100	200	300	400	500	Teor de Umidade (%)	13,68	
Teor de umidade (%)	15,9	18,2	20,5	22,8	25	Peso Amostra Umida (g)	5000	
Densidade Seca (g/cm³)	1,471	1,636	1,669	1,661	1,542	Peso Amostra Seca (g)	4398	

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Figura 7 – Gráfico do ensaio de compactação AS-1.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Na realização do ensaio de I.S.C é imprescindível que se realize também o ensaio de expansão, pois é através deste que se obtém o quanto a amostra pode expandir no momento em que o teor de umidade de um solo aumenta, e também para simular a pior condição possível do subleito. Empregando-se os três corpos de prova intermediários do ensaio de compactação, é feito o ensaio de expansão e, após 96 horas, realiza-se o ensaio de I.S.C. Os resultados obtidos podem ser observados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de expansão – AS1.

ENSAIO DE EXPANSÃO				
DATA	TEMPO	Leitura Cilindro 24 (mm)	Leitura Cilindro 26 (mm)	Leitura Cilindro 27 (mm)
23/10/2013	0h	0,0	0,0	0,0
24/10/2013	24h	0,0	0,0	0,0
25/10/2013	48h	0,0	0,0	0,0
26/10/2013	72h	0,0	0,0	0,0
27/10/2013	96h	0,70	0,59	0,50
% Expansão		0,61	0,52	0,44

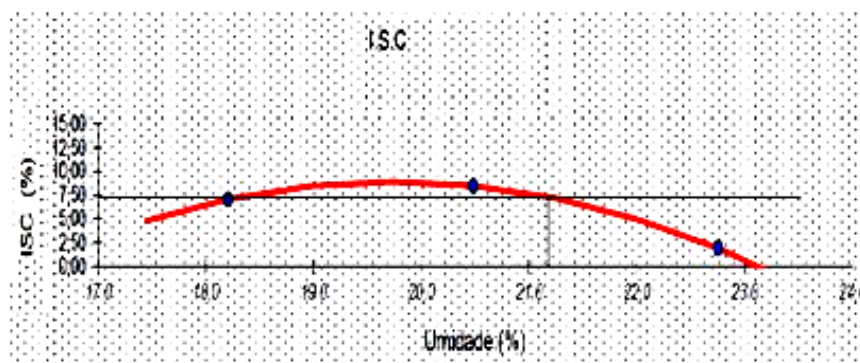
Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de I.S.C – AS-1.

ENSAIO DE INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - I.S.C											K Aparelho = 0,08903	
TEMPO (min)	Penetração		PRESSÃO PADRÃO	Leit. C - 24 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %	Leit. C - 26 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %	Leit. C - 27 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %
	mm	Pol										
0,5	0,63	0,025	-	14	1,25		17	1,51		6	0,53	
1,0	1,27	0,050	-	23	2,05		30	2,67		9	0,80	
1,5	1,9	0,075	-	32	2,85		43	3,83		12	1,07	
2,0	2,54	0,100	70	44	3,92	5,57	65	5,79	8,23	14	1,25	1,77
3,0	3,81	0,150	-	61	5,43		77	6,86		19	1,69	
4,0	5,08	0,200	105	84	7,48	7,09	101	8,99	8,53	23	2,05	1,94
6,0	7,62	0,300	132	116	10,33		148	13,18		30	2,67	
8,0	10,16	0,400	161	153	13,62		194	17,27		39	3,47	
I.S.C. ADOTADO				7,09			8,53			1,94		

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Figura 8 – Gráfico do ensaio I.S.C – AS-1.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

5.1.1 Análise dos resultados da amostra AS-1

A expansão e o I.S.C da amostra AS-1 foi obtido através dos gráficos que relacionaram a umidade ótima versus sua expansão e a umidade ótima versus o I.S.C determinado.

Por meio dessas afirmações verificou-se que a umidade do solo tem influência significativa no desempenho da amostra. A expansão da amostra AS-1 teve como resultado 0,49%. Esse valor é referente à expansão do solo no momento em que o mesmo está com sua umidade ótima. O gráfico de I.S.C da Figura 8 teve como resultado o valor de 7,4% para a umidade ótima da amostra.

Com esses resultados, observou-se que a amostra AS-1 não pode ser utilizada como material de subleito nos aterros de obras civis, pois mesmo a expansão da amostra sendo considerada como ideal, o I.S.C da mesma é considerado inferior ao exigido.

Em norma, não há nenhuma especificação sobre a expansão, nem mesmo sobre o I.S.C do solo, exigido como critério, porém os profissionais do ramo de controle tecnológico de solos recomendam que a expansão para o uso em subleito seja igual ou inferior a 2% e, para o Índice de Suporte Califórnia, igual ou superior a 8%.

5.2 Caracterização do solo da amostra AS-2

Como observado no item 5.1.1 a amostra AS-1 não está apta para ser empregada como camada de subleito em obras de aterro.

Para evitar o descarte deste material, propõe-se o emprego de estabilização granulométrica, conforme já realizada em um solo com características semelhantes, em uma obra na cidade de Patos de Minas/MG, adicionando-se 30% de areia média lavada.

Como forma comprobatória da estabilização feita em Patos de Minas, foi realizado todos os ensaios previstos por norma, para obter o I.S.C do solo com adição de areia, que por sua vez foi denominado como amostra AS-2.

Para a obtenção do I.S.C da amostra modificada AS-2, o solo teve que passar por três ensaios, os quais foram caracterização mecânica da amostra que é obtida através do ensaio de compactação, ensaio de expansão e ensaio de I.S.C.

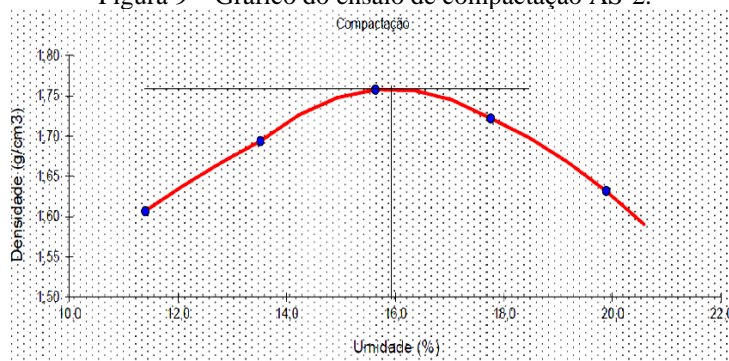
Nas Tabelas 5, 6 e 7 estão representados os valores obtidos e seus respectivos gráficos nas Figuras 9 e 10.

Tabela 5 – Caracterização mecânica AS-1.

CARACTERIZAÇÃO MECANICA - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO AMOSTRA AS-2								
Umidade Calc. (%)	11,4	13,5	15,6	17,8	19,9	UMIDADE HIGROSCÓPICA		
Água Adicionada (%0	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	Nº Capsula	14,0	22,0
Nº Cilindro	28	10	25	20	13	Capsula + Solo Umido (g)	112,48	115,2
Cilindro + Solo Umido (g)	7755	8270	9330	8495	8685	Capsula + Solo Seco (g)	106,68	109,48
Peso do Cilindro (g)	4012	4280	5126	4228	4842	Peso da Água (g)	5,8	5,72
Solo Umido (g)	3743	3990	4204	4267	3843	Tara da Capsula (g)	13,64	13,24
Volume do Cilindro (cm³)	2091	2075	2068	2104	1964	Peso do Solo Seco (g)	93,04	96,243
Densidade Umida (g/cm³)	1790	1,923	2,033	2,028	1,957	Teor de Umidade (%)	6,2	5,9
Água Adicionada (g)	250	350	450	550	650	Teor de Umidade (%)	6,1	
Teor de umidade (%)	11,4	13,5	15,6	17,8	19,9	Peso Amostra Umida (g)	5000	
Densidade Seca (g/cm³)	1607	1,694	1,758	1,722	1,632	Peso Amostra Seca (g)	4713	

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Figura 9 – Gráfico do ensaio de compactação AS-2.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de expansão – AS-2.

ENSAIO DE EXPANSÃO				
DATA	TEMPO	Leitura Cilindro 10 (mm)	Leitura Cilindro 25 (mm)	Leitura Cilindro 20 (mm)
29/10/2013	0h	0,0	0,0	0,0
30/10/2013	24h	0,0	0,0	0,0
31/10/2013	48h	0,0	0,0	0,0
01/11/2013	72h	0,0	0,0	0,0
02/11/2013	96h	0,46	0,26	0,15
% Expansão		0,40	0,23	0,13

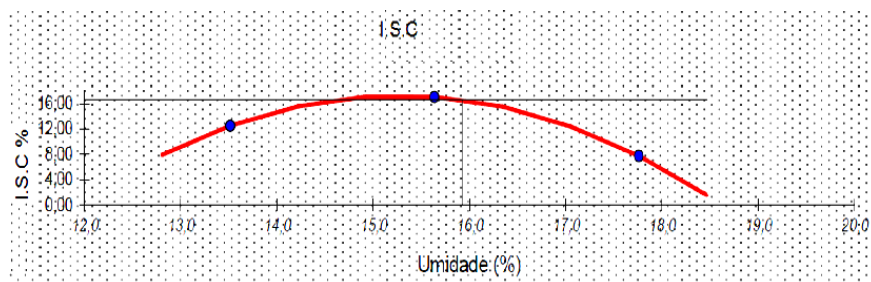
Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de I.S.C – AS-2.

ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA - I.S.C											K Aparelho = 0,08903	
TEMPO (min)	Penetração		PRESSÃO PADRÃO	Leit. C - 10 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %	Leit. C - 25 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %	Leit. C - 20 (mm)	Pressão C (kg/cm²)	ISC %
	mm	Pol										
0,5	0,63	0,025	-	5,79	0,52		59	5,25		10	0,89	
1,0	1,27	0,050	-	6,94	0,62		94	8,37		24	2,14	
1,5	1,9	0,075	-	7,75	0,69		118	10,51		38	3,38	
2,0	2,54	0,100	70	8,81	0,78	12,54	135	12,02	17,09	55	4,90	6,96
3,0	3,81	0,150	-	9,26	0,82		176	15,67		80	7,12	
4,0	5,08	0,200	105	9,88	0,88	9,37	201	17,90	16,97	92	8,19	7,77
6,0	7,62	0,300	132	11,75	1,05		241	21,46		99	8,81	
8,0	10,16	0,400	161	12,55	1,12		262	23,33		139	12,38	
I.S.C ADOTADO					12,54		17,09		7,77			

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Figura 10 – Gráfico do ensaio I.S.C – AS-2.



Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

5.2.1 Análise dos resultados da amostra AS-2

Nos gráficos apresentados no item anterior foram obtidos os resultados necessários para a análise da amostra AS-2.

Com a adição de 30% de areia na amostra de solo natural a expansão do material foi de 0,21% e o I.S.C da amostra AS-2 foi de 16,6 %.

5.3 Análise e comparações entre as amostras

A Tabela 8 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das amostras de solo AS-1 e AS-2.

Por meio desta comparação é possível classificar em apto ou não para a utilização em camadas de subleito.

Tabela 8 – Comparações entre as amostras AS-1 e AS-2.

Amostra AS-1 X Amostra AS-2		
SOLO	Solo natural	Solo + areia (30%)
Umidade ótima (%)	21,2	15,9
Densidade max. (g/cm ³)	1,671	1,759
Expansão (%)	0,49	0,21
I.S.C (%)	7,4	16,2

Fonte: Elaborado pelos autores (2013).

Analisando a Tabela 8 é possível observar que a adição de 30% de areia na amostra AS-2 trouxe uma melhora considerável em relação ao I.S.C da amostra AS-1.

É possível notar também que a expansão da amostra AS-1 teve uma pequena alteração em relação à amostra AS-2, trazendo melhoria ao material, pois quanto menor esse valor melhor será sua estabilidade, evitando assim que as camadas acima desse material sofra algum tipo de ruptura.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a realização da caracterização de um solo natural. Com os resultados desta análise inicial, foi possível verificar que o mesmo não era indicado para a utilização em camadas de subleito em aterros de obras civis, pois seu Índice de Suporte Califórnia obteve resultado de 7,4%, o que de praxe é considerado baixo, em relação ao valor mínimo de 8%, sugerido por profissionais especializados.

Com esses resultados, o solo seria descartado e provavelmente a troca do material geraria um custo maior à obra. Para sua reutilização seria necessário então, uma correta estabilização visando o aumento do o I.S.C.

Esta estabilização foi realizada com base na situação praticada em uma obra na cidade de Patos de Minas/MG, e foi a partir desta que o estudo evoluiu. Por meio dessas

informações, o trabalho também teve como objetivo comprovar que esse método de estabilização, com 30% de areia média lavada, teria resultados satisfatórios.

A metodologia foi comprovada com sucesso, analisando-se os resultados obtidos, uma vez que a técnica foi capaz de melhorar 2,16 vezes o valor do I.S.C da amostra considerada inadequada para utilização em camadas de subleito.

A partir dos resultados obtidos na segunda amostra (solo + 30% areia média lavada), foi comprovado que o solo, após a estabilização granulométrica, pode ser empregado em camadas de subleito, em aterros de obras civis, tanto em consideração ao seu I.S.C que teve resultado de 16,2% quanto em relação a sua baixa expansão que foi 0,21%.

É importante reforçar que os resultados alcançados no presente trabalho servem como base de dados apenas para o solo em estudo.

Como indicação para trabalhos futuros e continuidade do presente estudo sugere-se a utilização de brita e cascalho na estabilização de solos com I.S.C deficiente; a análise da estabilização mecânica com o objetivo de melhorar o I.S.C de uma amostra; o uso de teores maiores de areia na mistura e o estudo comparativo entre os custos envolvendo a troca de solos de uma obra real e a estabilização de solo da mesma obra.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. *Caracterização física e classificação dos solos*. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6457: Amostras de solos – Preparações para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.
3. _____. *NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.
4. _____. *NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1988.
5. _____. *NBR 7181: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1988.
6. _____. *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 1988.
7. _____. *NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de ensaio*, 1988.
8. CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. 5. ed. 242p.
9. _____. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 6. ed. 234p.
10. DAS, Braja M. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. São Paulo: Cengage Learning, 2007. 7.ed. 610p.
11. GRECO, Jisela Aparecida Santanna. *Notas de aula: Índice de Suporte dos – Ensaios CBR*. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~jisela/pagina/notas%20CBR.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2013.
12. PINTO, Carlos de Sousa. *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 3. ed. 367p.
13. SILVA, Ana Patrícia de Jesus. *Apostila de Mecânica dos Solos*. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/32869537/Apostila-de-Mecanica-dos-Solos-2009>>. Acesso em 10 out. 2013.
14. SOARES, José Mario Doleys; PINHEIRO, Reinaldo J. B; TAVARES, Ildomar S. *Notas de aula: Mecânica dos solos*. Disponível em: <http://www.braddock.com.br/upload/promocoes/grande/promocao_2_306_1.>. Acesso em: 27 mar. 2013
15. VARGAS, Milton. *Introdução à mecânica dos Solos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.