



Análise e avaliação das propriedades geomecânicas da mistura de solo e cinza volante por meio de ensaios laboratoriais.

Autor: Douglas Henrique Dantas Nanni

Orientador: Paulo José Rocha de Albuquerque

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

1. INTRODUÇÃO

No estudo da geotecnia, sabe-se que existem variados tipos de solos com diversas características físicas e geomecânicas. Nas obras de engenharia civil, todos precisam de uma boa estabilidade para o melhor desempenho como um todo. A resistência à compressão, por exemplo, é de suma importância na área da construção, uma vez que, solos que suportam cargas maiores são mais interessantes aos engenheiros.

Para tal, o aumento da resistência dos solos pouco coesos com a adição de materiais de granulometria fina e quimicamente reativos mostram-se muito eficientes, como a combinação de solo-cal e solo-cimento, que, normalmente, são utilizadas em pavimentação ou em alvenaria, respectivamente. Além disso, com a problemática atual da poluição do meio ambiente, a utilização de compostos poluentes em outros fins se faz totalmente necessário, a fim de viabilizar a sustentabilidade.

Constatado isso, nesta pesquisa, utilizar-se-á a combinação de solo, adquirido em uma loja de materiais de construção em Paulínia - SP, com cinza volante e cimento e, a partir de ensaios de caracterização, obter a resistência à compressão simples. Serão feitas comparações com os resultados obtidos com o solo na condição natural (sem adição) e solo-cimento, analisando a viabilidade dessa utilização em obras civis. Espera-se, assim, observar um aumento de resistência devido as similaridades com outros materiais de granulometria fina.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo SANTOS (2012), é possível estabilizar o solo fisicamente mudando sua temperatura, hidratação, adsorção e evaporação, parâmetros que influenciam diretamente na textura do solo. Já mecanicamente, é possível fazê-lo através de mudanças da compactação, índice de vazios e compactidade, porém, sem adicionar nenhum outro material. E, por fim, quimicamente, método que utilizaremos nesta pesquisa, que consiste em adicionar quantidades

de aditivos para que estes reajam com as propriedades estruturais do solo, possibilitando melhorias com relação a resistência, permeabilidade e durabilidade.

2.1. Estabilização de solo-cal e solo-cimento

O solo-cal é a combinação mais comum em estabilizações químicas e é utilizado, principalmente, em pavimentações, como visto em EMURB (2006), pois ocorre uma ótima estabilização, visto que a cal, após reagir quimicamente com o solo, cria um material cimentício que aumenta a resistência do solo, além de aumentar o índice de finos na granulometria (COELHO, TORGAL, JALALI, 2009). O cimento, similar a cal, reage quimicamente com o solo e ao endurecer melhora a sua estabilização. É utilizado, principalmente, em pavimentações e em processos construtivos, com paredes monolíticas, blocos e tijolos prensados e, menos comum, em fundações, passeios e contrapisos, (“Solo-Cimento”, 2009).

2.2. Estabilização com solo-cinza volante

A cinza volante é um mineral pozolânico altamente fino proveniente da queima do carvão mineral. Por ser pozolânico, possui altos teores de sílica, comumente encontrado em materiais aglomerantes e responsável por trazer resistência mecânica ao cimento. Essa queima ainda possui influência na emissão de gases e partículas que atuam no efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Logo a utilização de componentes dessa atividade é uma alternativa interessante para minimizar seus efeitos no ambiente. Suas características físicas variam de acordo com o local de coleta, como mostrado por (KIHARA, 1983).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Ensaio realizados

A partir da teoria e hipóteses levantadas, tomou-se o solo, juntamente com a adição de cinza volante e será testado laboratorialmente sua

resistência à compressão simples. Para isso, foi realizado os ensaios de caracterização: granulometria, limites de consistências, massa específica aparente, compactação de Proctor e, posteriormente, submeter as amostras aos ensaios de compressão simples. Também será realizada a análise do solo natural e de sua mistura com cimento Portland CII-F-32, proveniente da Companhia Siderúrgica Nacional (CNS), de forma que será possível analisar e comparar os resultados, uma vez que passarão pelos mesmos ensaios e condições do solo-cinza volante.

3.2. Solo ensaiado e características da Cinza-volante

O estudo foi realizado com amostra de solo, adquirida em uma loja de materiais de construção de Paulínia - SP e estocada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas "Luiz Eduardo Meyer" (LMSE - FEC - UNICAMP). Escolheu-se essa amostra arenosa pois é menos coesa, ou seja, detém uma textura mais adequada para adição de materiais pozolânicos.

As características da cinza volante foram determinadas em laboratório e disponibilizada pela empresa fornecedora. Ela é composta por 62% de dióxido de silício (SiO₂), 22% de óxido de alumínio (Al₂O₃) e 16% de diversos outros compostos.

3.3. Dosagem

Para os ensaios seguiu-se como base a norma NBR 12253 (ABNT, 2012). A dosagem das misturas de solo-cimento deve utilizar quantidades de cimento que variam de 5% a 10% da massa de solo e diferentes porcentagens de cinza volante, de 0 a 10%. Logo, se fixará porcentagens iguais tanto para cimento, quanto para cinza volante, usando como limitante o valor máximo de 10%. Baseado nisso e seguindo o resultado do ensaio de compactação a quantidade de água na mistura, trabalhando com valores em que os custos benefícios mantenham-se positivos, foram fixadas porcentagens de 2%, 4% e 6% da massa de cimento e cinza volante para a quantidade de solo.

4. RESULTADOS

Nos ensaios de granulometria foi possível estimar a quantidade, em porcentagem, de cada tipo de granulometria presente na amostra, bem como obter a curva granulométrica característica, como observado na Figura 1 em ANEXOS. Após a confecção da curva, pôde-se classificar a amostra como areia siltosa, segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995). Segundo a SUCs, tem-se uma classificação ML SM Areia siltosa.

Por fim, pela classificação AASHTO - HRB, resultou em A-4 solos siltosos.

Para a determinação de consistência não foi necessário realizar os ensaios de limites de consistência, uma vez que, a partir de observações e testes táteis, pode-se afirmar e concluir que solo em questão é classificado como não plástico (NP). A massa específica dos sólidos $\rho_s(20)$, por sua vez, obteve-se o valor de 2,69 g/cm³. E, conseqüentemente, o peso específico dos sólidos $\gamma_s(20) = 26,9 \text{ kN/m}^3$.

A Figura 2, em ANEXOS, é referente a curva de compactação do solo. A partir da análise, é possível concluir que para este solo sua umidade ótima é de aproximadamente 9,4% e massa específica aparente seca máxima de aproximadamente $d=1,96 \text{ g/cm}^3$.

No ensaio de compressão, dada as circunstâncias (quarentena), e a fim de analisar a resistência inicial, foi realizado apenas o rompimento dos corpos de provas (CP's) com sete dias de cura. A partir disso, foi observado apenas os valores de tensões de rompimento inicial, como é visto na Tabela 1, em ANEXOS.

A partir destes valores obtidos, pôde-se confeccionar os gráficos de barras observados nas Figuras 3 e 4, em ANEXOS, que expressam a tensão admissível somente do solo e solo-cinza volante e solo-cimento, respectivamente, para os corpos de prova um (CP1), dois (CP2), três (CP3), e a média entre eles.

5. DISCUSSÃO

Ao analisar os rompimentos dos CP's do solo em condições naturais, não é possível observar uma uniformidade nos resultados. Pode-se notar uma inconsistência no valor do CP1, muito acima dos demais, ocasionando um grande aumento da média. Considerando apenas os CP2 e CP3, teríamos como média de tensão 53 kPa, 10 unidades a menos que a média considerando o CP1.

O solo estabilizado com cinza volante se comportou de forma coincidente quando estabilizados com 4% e 6%. No entanto, a estabilização com 2% de cinza volante ocasionou uma grande discrepância de resultados no CP2 com um valor de, aproximadamente, 43% menor comparado aos CP1 e CP3, ocasionando uma queda da média de tensão em 9 kPa.

Quanto ao solo estabilizado com o cimento, foi possível observar tensões admissíveis superiores e uma uniformidade nos ensaios com 2% e 4% de cimento. Para 6%, houve uma pequena queda da média devido ao valor de tensão do CP2. Porém, apesar dessa

diferença, ainda é notório que houve um aumento na resistência à medida que a porcentagem de aditivo cresce.

As inconsistências observadas nas tensões do CP1 do solo, CP2 do solo com 2% de cinza volante e CP2 da estabilização com 6% em cimento, devem ser tratadas como normais em ensaios com essas características, uma vez que a resistência inicial normalmente é imprecisa, sendo necessário ensaiar um maior número de CP para uma análise mais aprofundada, visto que a intenção inicial não era observar somente o comportamento inicial, mas sim a resistência após a cura total.

Vale ressaltar que, caso os valores inconsistentes sejam errôneos, é possível observar uma melhora da resistência inicial do solo com a adição de cinza volante em 2% e 4% ao peso do solo. Assim, tornando os valores de tensão admissível da estabilização com cinza melhores que do solo sem estabilização.

6. CONCLUSÃO

Dado o acontecimento histórico da “pandemia de COVID-19” e a necessidade de atividades remotas, a realização de ensaios laboratoriais nas dependências da Unicamp, foram impossibilitados. Assim, o presente relatório, que tinha por objetivo inicial concluir se a resistência com adição de cinza volante melhorava com rompimentos de 7, 14 e 28 dias, ficou limitado a tomar conclusões do rompimento de 7 dias, portanto, será analisado apenas a resistência inicial.

A partir das circunstâncias, foi observado que os valores médios de resistência de ruptura somente do solo e do solo-cinza volante são similares, sendo assim, é incoerente pensar no uso da mistura para a melhoria do solo em obras que são necessárias grandes resistências iniciais, para os teores de misturas empregados nesta pesquisa. Outro fato incontestável observado, diz respeito da utilização da estabilização com o cimento, que se faz muito superior a cinza, sendo indicada para obras que necessitam tensões elevadas.

Com base nos resultados inconsistentes citados e na possibilidade de que sejam errôneos, a utilização da cinza volante como estabilização de solos arenosos se faz interessante em obras que requerem um pequeno ganho de resistência inicial do solo, uma vez que essas porcentagens são satisfatórias em custo e eliminaria, assim, essas partículas do meio ambiente. Cabe ressaltar que as conclusões se baseiam somente em

ensaios de compressão aos 7 dias. Fica a questão do ganho de resistência da mistura solo-cinza para curas superiores a 7 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1992) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo - Determinação da Resistência à Compressão - NBR – 12770

ABNT (2012) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento — Procedimento - NBR - 12253

ABNT (2016) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo - Ensaio de Compactação NBR - 7182

ABNT (2016) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo - Determinação da Massa Específica NBR - 6508

ABNT (2016) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 6459

ABNT (2016) - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180

ABNT (2016) Associação Brasileira de Normas Técnicas- Solo - Análise Granulométrica. NBR 7181

COELHO, A. Z. G.; TORRAL, F. P.; JALALI S. (2009) A cal na construção civil. Editora TecMinho.

EMURB ES-EE/00/5T-020.(2006) Especificação de Serviços e Materiais para Execução de Base de Solo-Cal. São Paulo.

KIHARA, Y. (1983) O estudo mineralógico das cinzas volantes brasileiras: origem, características e qualidade. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/td-e-25092013-150634/en.php

SANTOS, M. N. (2012) Análise do efeito da estabilização mecânica em matrizes de terra. Disponível em: <http://twixar.me/n0pKhttp://twixar.me/n0pK>

SOLO Cimento. PORTAL ABCP, 2009. Disponível em <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>. Acesso em: 18, Abril de 2019.

7. ANEXOS

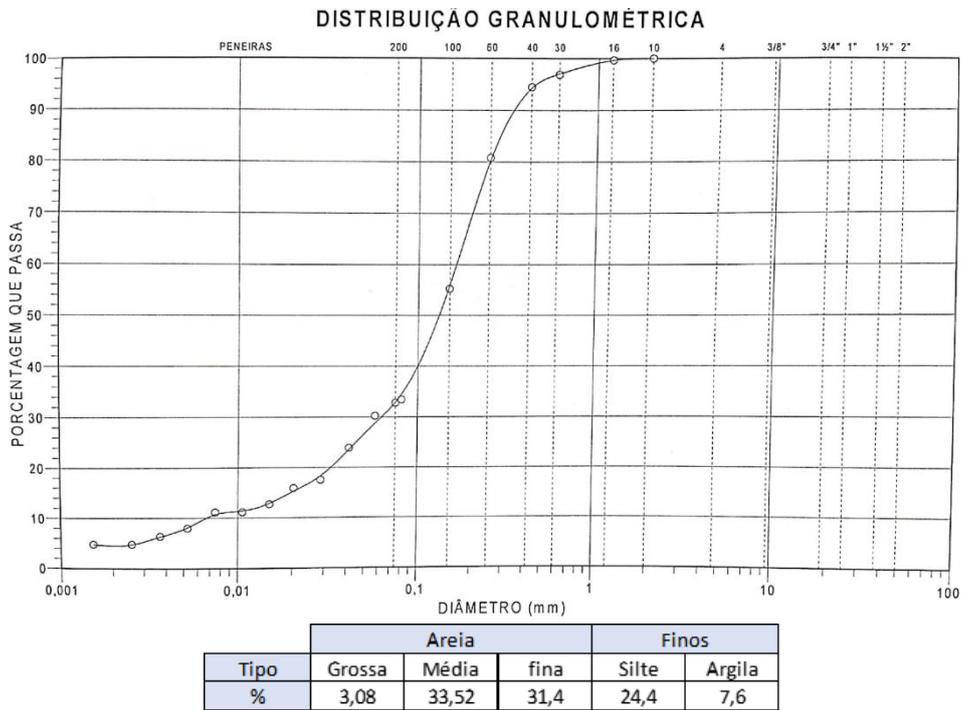


Figura 1 – Curva granulométrica e porcentagens do solo granular estudado.
Fonte: Autor.

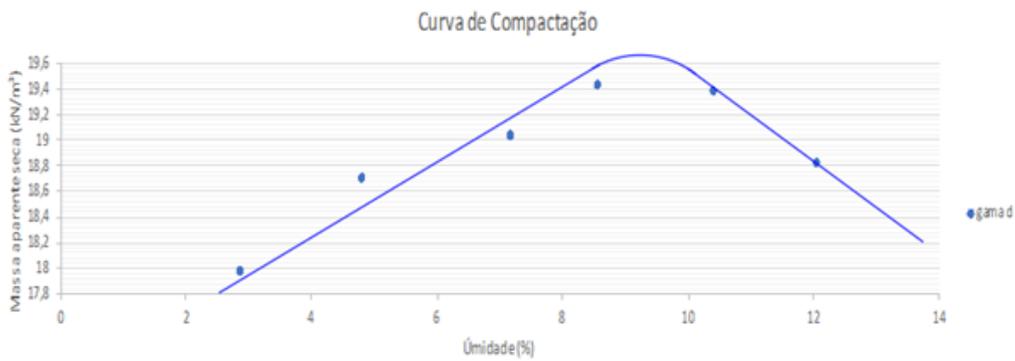


Figura 2 – Curva de compactação do solo estudado.
Fonte: Autor

Tabela 9 – Valores obtidos pelo ensaio de compressão simples.

	Tensão de rompimento de 7 dias - em kPa						
	Somente solo	Solo-cinza (2%)	Solo-cinza (4%)	Solo-cinza (6%)	Solo-cimento (2%)	Solo-cimento (4%)	Solo-cimento (6%)
CP1	83	65	62	46	282	666	1163
CP2	47	37	60	46	262	688	858
CP3	59	65	60	48	254	685	1085
Média	63	56	61	47	266	680	1035

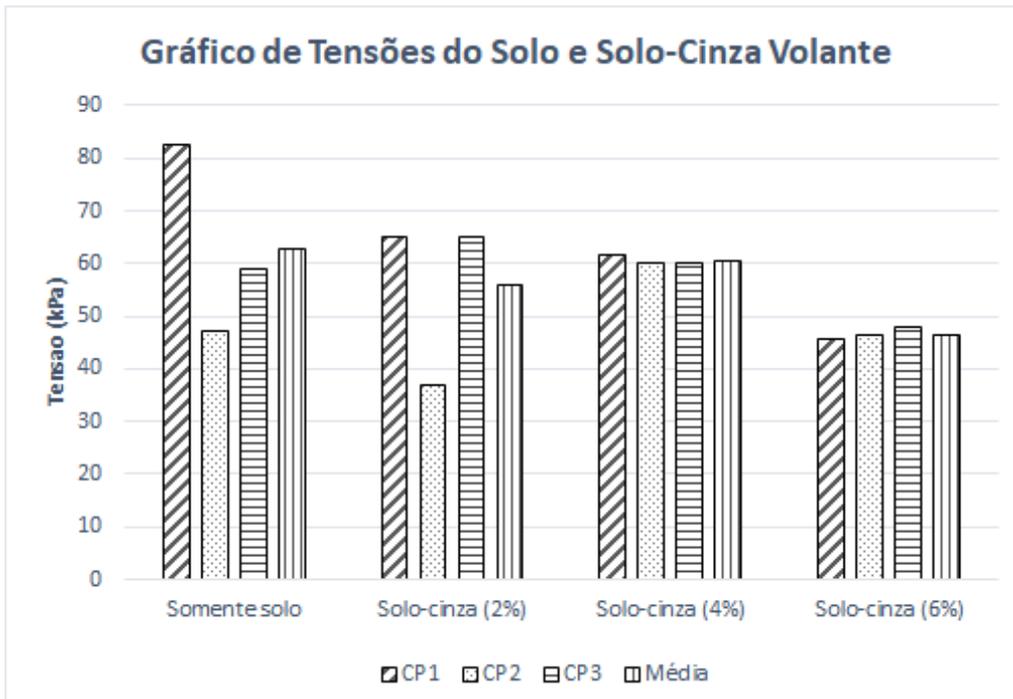


Figura 3 - Gráfico de tensões admissíveis do solo e solo-cinza volante

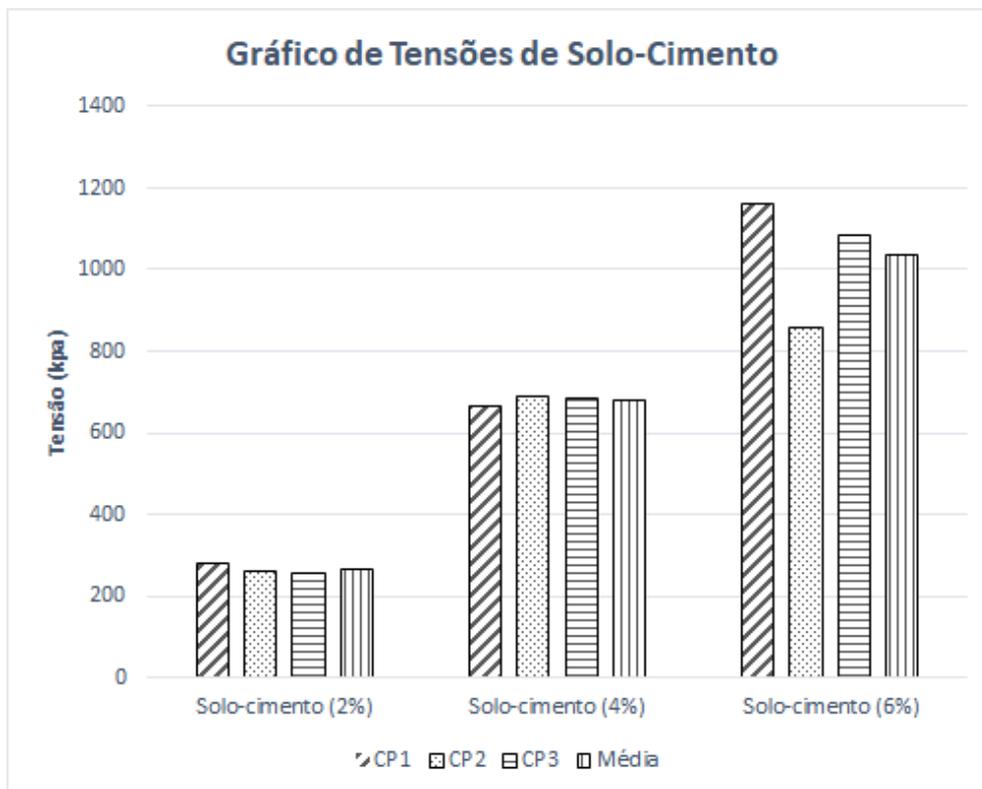


Figura 4 - Gráfico de tensões admissíveis do solo e solo-cimento