

Introdução e Objetivo

A cal é o estabilizante mais viável economicamente para aplicação em solos, com o objetivo de melhorar as características destes quando utilizados nas mais diversas obras de engenharia geotécnica. Misturas solo-cal apresentam um comportamento complexo, influenciado por fatores como propriedades físico-químicas do solo, porosidade, quantidade aditivo utilizado na mistura e teor de umidade no momento da compactação. A fim de se obter um valor de resistência-alvo, são necessárias análises desses parâmetros para a determinação de uma metodologia de dosagem dos materiais.

O foco da pesquisa apresentada é verificar a influência da quantidade de cal e da porosidade sobre a resistência de um solo siltoso (caulim) estabilizado com esse aditivo. Para isso foram realizados ensaios de compressão simples e medidas de sucção matricial.

Materiais

Solo – Comercialmente conhecido como caulim rosa e originário de Pântano Grande-RS, é composto por 51% de argila (< 0,002 mm), 47,5% de silte (0,002 a 0,075 mm) e 1,5% de areia fina (0,074 a 0,42 mm). De acordo com o SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) o caulim rosa é classificado com um silte de baixa plasticidade, como pode se verificar na Figura 2.

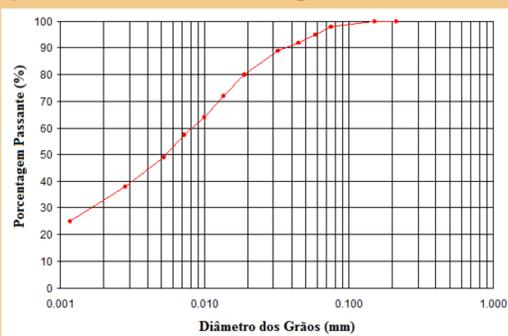


Fig. 1 - Curva granulométrica do caulim

Propriedades Físicas	Valores Médios
Peso específico real dos grãos	2,64 g/cm ³
% areia fina	1,5%
% silte	47,5%
% argila	51%
Limite de liquidez	39%
Limite de plasticidade	34%
Índice de plasticidade	5%

Fig. 2 – Propriedades físicas do caulim

Agente cimentante - A cal utilizada é comercialmente chamada de “Primor Extra” e se trata de uma cal hidratada dolomítica, com massa específica igual a 2,49 g/cm³, proveniente de Caçapava do Sul - RS. (Os ensaios de massa específica da cal seguiram as recomendações da NBR NM 23/2001)

Água - Para a moldagem dos corpos-de-prova, foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento pública. Já para os ensaios de caracterização utilizou-se água destilada quando especificada pela respectiva norma.

Métodos

Programa de ensaios e dosagem de misturas

- Porcentagens de cal: 3%, 5%, 7%, 9%;
- Massas específicas aparentes secas do solo: 1,4, 1,5 e 1,6 (g/cm³);
- Teor de umidade: 20%;
- Tempo de cura dos corpos de prova: 28 dias.

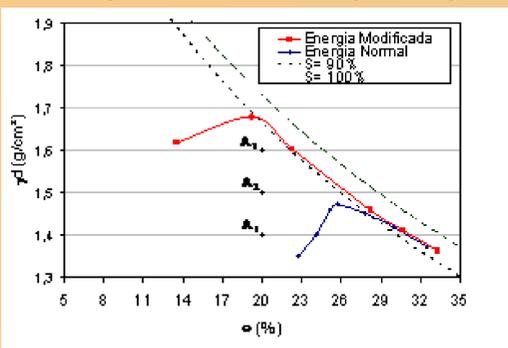


Fig. 3 - Programa de ensaios de compressão simples

Pontos de moldagem :
A1, A2 e A3 – “Linha A”
Mesma umidade e
diferentes massas específicas
aparentes secas

Descrição do ensaio de compressão simples

- Mistura homogênea dos materiais;
- Retirada de duas pequenas porções da mistura para a determinação da umidade;
- Moldagem de amostra cilíndrica com d=50mm e h=100mm em molde tripartido;
- Extração do corpo de prova seguido de pesagem e medições (precisão de cerca de 0,01 g e 0,1 mm);
- Acondicionamento dos corpos de prova durante 28 dias;
- Submersão das amostras por 24h antes do ensaio;
- Rompimento através de uma prensa automática com anéis dinamométricos calibrados com capacidade de 10 kN e 50 kN. A velocidade de deformação destes ensaios eram de 1,14 mm/min. (O procedimento dos ensaios de compressão simples seguiram a norma americana ASTM D 5102/96)

Descrição do ensaio de sucção matricial

- Após o ensaio de compressão simples, é retirada uma amostra cilíndrica (~5 cm de diâmetro por 2,5 cm de altura);
- Sem sobreposição, dois pedaços de papel filtro (com 2 cm², da marca Whatman N° 42) são colocados na parte superior da amostra;
- Proteção da amostra com filme plástico de PVC e posterior acondicionamento da amostra em saco plástico selado para garantir que o fluxo ocorra somente entre o solo e o papel, sem interferência do ambiente;
- Durante 7 dias, a amostra é mantida em um caixa de isopor;
- Pesagem do conjunto papel-filtro úmido + recipiente em balança com resolução de 0,0001 g;
- O papel-filtro é levado para estufa à 60°C por 48h e, posteriormente sujeito à nova pesagem (papel-filtro seco + recipiente);
- Enfim, pesa-se somente o recipiente e calcula-se o teor de umidade de cada papel filtro. Através de uma lei de calibração se obtém a sucção dos dois papéis, sendo sua média a sucção existente na amostra.

Resultados Experimentais

Influência da quantidade de cal

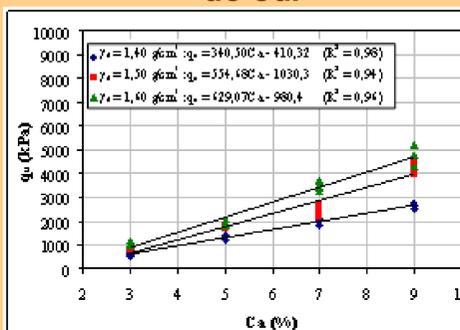


Fig. 4 - Variação da resistência à compressão simples em relação à quantidade de cal das amostras ensaiadas aos 28 dias de cura.

Ao aumentar a quantidade de cal, a resistência à compressão simples, em média, acresce 378% em todas as curvas da Figura 4. Verifica-se que na faixa de teores estudados, a resistência à compressão simples aumenta linearmente com o aumento da quantidade de cal e a taxa de aumento de resistência, representada pela inclinação das retas de ajuste, aumenta com o aumento da massa específica aparente seca.

Influência da porosidade

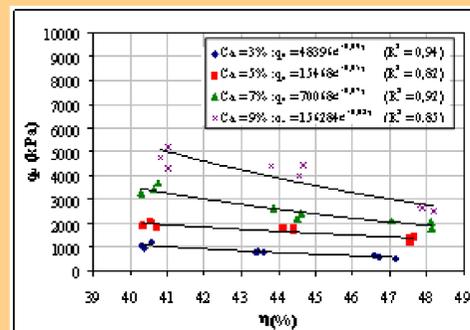


Fig. 5 - Variação da resistência à compressão simples em relação à porosidade das amostras ensaiadas aos 28 dias de cura.

Nas curvas da Figura 5, a redução de 10 pontos percentuais na porosidade do material aumentou, em média, 1,7 vezes a resistência à compressão simples do solo-cal. Pode-se observar também, que a resistência à compressão simples aumentou exponencialmente com a redução da porosidade da mistura compactada.

Dados obtidos a partir do ensaio de sucção matricial

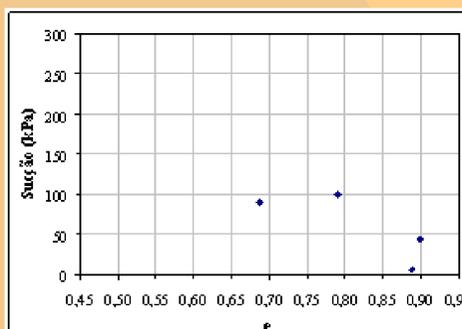


Fig. 6 - Relação entre medidas de sucção matricial e índice de vazios.

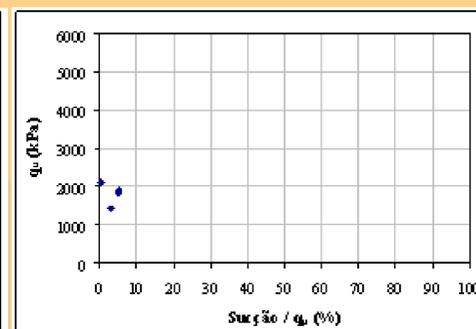


Fig. 7 - Influência da sucção nos valores de resistência à compressão simples.

Na figura 6, apesar da dispersão dos pontos pode-se verificar que a sucção matricial tende a aumentar à medida que diminui o índice de vazios. Os corpos-de-prova de menor índice de vazios absorveram menor quantidade de água, como era de se esperar. Entretanto, o grau de saturação obtido após a imersão não apresentou variação significativa em relação ao índice de vazios, girando em torno de 77% para todos os corpos-de-prova. O valor médio obtido para a sucção matricial de todos os corpos-de-prova ficou em 48 kPa.

Pode-se verificar na figura 7 que a influência da sucção varia de 1 a 5% da resistência à compressão simples nos corpos-de-prova ensaiados.