

8 Conclusões e sugestões

8.1. Conclusões

8.1.1. Caracterização física, química e mineralógica.

Os resultados dos ensaios de granulometria mostram que a fração predominante para o solo Residual jovem é a areia enquanto que para o Colúvio é Argila.

Segundo os ensaios de limites de consistência, o Colúvio apresenta uma baixa atividade da fração argila.

Com respeito à distribuição dos poros nos solos, o Colúvio apresenta uma distribuição bimodal mostrando uma concentração de poros na faixa de microporos e macroporos. O solo Residual jovem apresenta uma concentração de poros na faixa de macroporos.

As análises químicas totais refletem o estado avançado de intemperismo em ambos os solos, pelos altos teores de alumina (Al_2O_3) e sílica (SiO_2) encontrados.

Os termogramas obtidos do solo Residual Jovem e Colúvio mostram que a fração argila encontra-se constituída por Caulinita e Gipsita com Caulinita, respectivamente.

As análises das imagens obtidas através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) verificaram o mostrado pela porosimetria de mercúrio com respeito à presença de macroporos e microporos no Colúvio. Além de identificar a presença de material cimentante envolvendo os grãos maiores no solo Residual jovem.

A curva de retenção do Colúvio apresenta comportamento bimodal, ou seja, possui 2 pontos de inflexão. O solo Residual jovem apenas um ponto de inflexão. As equações propostas por Fredlund e Xing (1994) forneceram um ajuste adequado para os dados experimentais das curvas de retenção bimodal e unimodal.

A previsão da curva característica a partir da porosimetria de mercúrio forneceu uma boa estimativa com relação à forma, mas não com a posição como foi mostrado nas figuras 5.19 à 5.23.

8.1.2. Compressibilidade

Analisando as amostras não saturadas, observou-se para o solo Residual jovem um pequeno incremento na variação do índice de vazios com aumento da tensão normal líquida; enquanto que para o Colúvio esta influência não é bem definida pelo fato da dispersão na variação do índice de vazios.

8.1.3. Resistência ao cisalhamento

Os resultados experimentais permitiram concluir que a resistência ao cisalhamento não saturado versus sucção mátrica apresenta um comportamento não linear para ambos os solos. No caso do solo residual jovem, esta não linearidade se tornou linear para as tensões normais líquidas de 80 e 120 kPa. Este fato pode ser explicado pela presença de uma fraca cimentação tipo ponte envolvendo os grãos na estrutura do solo residual jovem, sendo que para as tensões normais líquidas de 80 e 120 kPa estas ligações são rompidas e, como consequência, a envoltória se torna linear.

A resistência ao cisalhamento não saturada versus tensão normal líquida mostrou-se linear para os níveis de tensão normal líquida aplicados. Notou-se nestas envoltórias uma leve variação dos ângulos de atrito com a sucção, mas sem mostrar um comportamento definido.

O comportamento de todas as envoltórias de resistência com respeito à sucção foram bem representados por uma função hiperbólica da forma:

$$\tau = \tau_0 + \frac{(u_a - u_w)}{[a + b(u_a - u_w)]}$$

O valor médio de ϕ' , para sucções de 0 a 200 kPa e tensões líquidas maiores que 40 kPa, é de 28.7° (solo Residual jovem) e 34.9°. (Colúvio).

No caso do ângulo ϕ^b , o valor elevado encontrado para baixas sucções (menores que 30 kPa), em ambos os solos, possivelmente está associado a uma dessaturação rápida a partir do valor de entrada de ar 10 kPa (para o solo Residual jovem) e 5 kPa (para o Colúvio). Este fato foi verificado também nos materiais avaliados por Soares (2005) e Lopes (2006).

Foram bem representadas as envoltórias de resistência para o solo não saturado através das envoltórias tridimensionais apresentadas na figura 7.16 e 7.17. Constatou-se que o valor de ϕ^b é influenciado pelo incremento da sucção em ambos os solos, sendo que o valor de ϕ^b diminui com o aumento da sucção mátrica. Porém o ângulo ϕ' não mostrou uma clara influência, pelo fato de que os pontos obtidos encontram-se dispersos.

Dos métodos de previsão de resistência ao cisalhamento de solos não saturados nenhum apresentou resultado satisfatório comparado com os dados experimentais. Tal fato pode ser explicado devido a que todas as formulações consideram que o valor de ϕ^b é no máximo ϕ' , mas como foi constatado nos resultados experimentais, o valor de ϕ^b para baixas sucções é maior que ϕ' .

Da comparação dos resultados obtidos com outros materiais encontrados na literatura observou-se que todos os materiais de modo geral apresentam o mesmo comportamento não linear. Nesse sentido, encontrou-se que todas as envoltórias de resistência apresentaram valores de ϕ^b elevados para baixas sucções. Embora se tenha calculado a velocidade adequada para o ensaios de cisalhamento, este valor também poderia ser um fator importante para a obtenção de estes valores contraditórios com a literatura.

A partir dos resultados obtidos dos ensaios com ciclos de umedecimento e secagem, pôde-se concluir que a secagem após a saturação no solo Residual jovem mostra uma diminuição na resistência ao cisalhamento enquanto que no Colúvio não se pôde apreciar devido à dispersão de dados. Uma explicação a este fato poderia ser o observado por autores como Utomo (1980) e Cafaro e Cotecchia (2001) que concluíram que o principal processo de intemperismo é a secagem e esta gera uma queda na resistência com mais facilidade em materiais com grãos maiores, como é o caso do solo Residual comparado com o Colúvio. Porém, apesar de que o solo Residual jovem apresente uma queda na resistência, a influência da secagem após da saturação não pode ser confirmada já que este fato poderia ser também decorrente da diferença entre os blocos de solo utilizados para os ensaios com ciclos e sem ciclos.

Finalmente, através da saturação após a secagem, observou-se que a resistência com ciclos é significativamente maior que a resistência sem ciclo em ambos os solos. Esta significativa diferença pode ser explicada devido a que o processo de saturação pela técnica de translação de eixos não esteja sendo atingida.

Com respeito à influência do nível de sucção atingida na secagem não foi encontrada uma clara influência na resistência ao cisalhamento em ambos os solos, sendo que para o nível de sucção de 120 kPa observou-se um ligeiro acréscimo quando comparado com os outros, mas não forneceu uma tendência clara com respeito à sucção atingida.

8.2. Sugestões

Como sugestões para futuras pesquisas no equipamento de CDSC, aponta-se uma modificação na aplicação da carga vertical, especificamente na união tipo universal localizada na base da célula de carga vertical, a fim de diminuir a variação da carga durante o cisalhamento.

Além disso, seria interessante a substituição do DAVE de 300 kPa (pressão de borbulhamento), atualmente montado no equipamento por um de 500 kPa com o fim de poder realizar ensaios com sucções maiores às que foram executadas no presente trabalho e poder definir com mais clareza a não linearidade da envoltória de resistência, em especial para o caso do solo Residual Jovem.

Dado que a velocidade de cisalhamento nas amostras em condição não saturada pode ter uma influencia nos resultados obtidos, sugere-se executar uma serie de ensaios com diferentes velocidades a fim de determinar sua influencia nos valores de resistência obtidos.

De forma geral, sugere-se formular novos modelos para previsão da resistência ao cisalhamento não saturado que sejam capazes de reproduzir o comportamento de solos não saturados com características distintas da maioria dos materiais utilizados nos modelos de previsão, como é o caso do solo Residual jovem e Colúvio estudados no presente trabalho.

Para posteriores estudos dos efeitos do ciclo de umedecimento e secagem, realizar análise de microscopia ambiental a fim de constatar as mudanças na estrutura do solo decorrente da saturação e secagem. E, também, realizar mais de um ciclo de umedecimento e secagem para verificar a influência do número de ciclos na resistência do solo.