

8 Conclusões e Sugestões

8.1.

Conclusões

Da análise dos solos residuais se conclui que tentar estabelecer uma classificação rigorosa não é possível e é mais adequado estabelecer divisões de carácter gerais. Confirmou-se que a evolução do intemperismo não é função da profundidade para rochas heterogêneas. Dos cinco perfis analisados, só um apresentou correlação com a profundidade.

A utilização de índices químicos para avaliar o intemperismo se apresenta como factível, mas a escolha do índice deve ter presente a composição da rocha e o grau de alteração presente. Especificamente, os índices k_i e k_r , amplamente utilizados na geotecnia, não são adequados para avaliar solos residuais jovens.

Dentre os índices apresentados e analisados, o mais interessante foi o índice de Perda ao Fogo (LOI), que quando comparado com os outros índices apresentou um comportamento coerente com o grau de alteração presente. Entre as vantagens deste índice está a facilidade da determinação e da interpretação. Ainda nesta determinação é importante adotar a temperatura de ensaio em função do principal argilomineral presente.

Não foi observada correlação entre as propriedades índice (índice de vazios e granulometria) e o grau de intemperismo, uma das razões que podem justificar este comportamento é forma de execução destes ensaios. Mais interessante que o valor total dos vazios presentes é a distribuição deles, como se mostrou no perfil São Gonçalo onde existe um claro avanço da microporosidade associada ao avanço do intemperismo.

A utilização da técnica de microscopia ótica na caracterização dos perfis de alteração se apresenta como interessante e de grande aplicabilidade, permitindo uma análise mais representativa do perfil quando comparada às técnicas tradicionais.

Da análise executada é possível afirmar que existe uma quantidade mínima de ensaios necessários para identificar o grau o nível de intemperismo

de um perfil de alteração. Do ponto de vista geotécnico devem ser executados ensaios de caracterização completa, granulometria, densidade dos grãos, densidade seca e limites de consistência. Para a identificação dos minerais presentes são necessários ensaios de Análise Química Total, Difração de Raios X e Perda ao Fogo. É importante que a execução dos ensaios de difração por raios X seja feita a partir da fração areia fina (passante na peneira #40), já que em muitos casos os argilo-minerais estão agregados em partículas maiores e apresentam tamanho de areia. Para avaliar a estrutura são necessários ensaios de porosimetria e a confecção de lâminas delgadas. Como este tipo de ensaios trabalha com amostras reduzidas é importante garantir a representatividade destas amostras em relação ao perfil ou local estudado.

Os ensaios para a determinação das propriedades hidráulicas não saturadas foram executados em solos tropicais, residuais e não residuais (sedimentar e colúvio), pela combinação de diferentes técnicas de ensaio. Esta metodologia mostrou-se eficiente na obtenção das curvas características dos materiais em toda a faixa de sucção.

No material residual mais jovem do perfil de alteração de gnaiss (Solo B3) não foi possível obter uma forma de curva de retenção bem definida. Este comportamento está relacionado à heterogeneidade própria do material. Em solos residuais de rochas heterogêneas é necessária a execução de ensaios de determinação da curva característica com um número representativo de amostras para incluir a heterogeneidade própria do material na curva de retenção. Nestes materiais residuais jovens de rochas heterogêneas seria mais apropriado falar de faixas de variação de umidades para um mesmo nível de sucção e não da existência de uma curva de retenção única.

Também nestes solos residuais avaliou-se a existência do fenômeno de histerese, as curvas obtidas mostram que a influência do fenômeno de histerese é menor que a influência da própria heterogeneidade do material. No caso da determinação da sucção total observou-se que os materiais residuais do perfil de alteração de Gnaiss não apresentam sucção osmótica, as curvas de sucção matricial e total são coincidentes.

A sonda de umidade relativa desenvolvida apresentou um bom funcionamento na determinação da sucção, é um instrumento alternativo quando se trabalha com sucções elevadas. A utilização deste tipo de sonda exige um controle rigoroso da temperatura.

A determinação das curvas características de sucção a partir dos dados de porosimetria de mercúrio também se mostrou aplicável, mas não para todos os

solos. A adoção de curvas resultantes dos ensaios de porosimetria de mercúrio precisa da execução independente de alguns pontos por metodologias convencionais (Placa de Pressão, Papel Filtro, etc) para confirmar a forma e a posição da curva obtida dos dados de porosimetria com relação à curva convencional. A maior diferença encontra-se em geral nas sucções mais elevadas e, pode estar relacionada com a preparação das amostras e a natureza dos líquidos utilizados, assim como com a forma dos vazios. Este último ponto precisa ser pesquisado mais profundamente. No caso dos solos residuais é importante garantir e verificar, mediante a comparação das distribuições de poros, a representatividade da amostra utilizada no ensaio de porosimetria de mercúrio.

Para todos os materiais, residuais e não residuais, as curvas obtidas experimentalmente foram ajustadas pelos modelos disponíveis na literatura (van Genuchten, Kosugi e Fredlund and Xing), e em todos os casos os ajustes foram aceitáveis. Pode afirmar-se que estes modelos são aplicáveis aos solos tropicais desde que a escolha dos parâmetros de ajuste seja corretamente executada. Considerando para isto o formato da curva experimental, unimodal, bimodal, etc e, trabalhando com alguma metodologia de otimização sucessiva dos parâmetros, como por exemplo, o ajuste por mínimos quadrados.

Foi possível observar também da análise dos dados de retenção, que a forma e a posição das curvas de retenção estão fortemente relacionadas às características de distribuição de poros e mineralogia dos materiais. As propriedades índices não apresentaram uma relação direta com o formato e os valores máximos apresentados nas curvas características.

Para a obtenção da função de permeabilidade foram executadas modificações no equipamento original e simulações visando a correta interpretação dos dados experimentais.

Os resultados das simulações permitem concluir que o equipamento utilizado permite obter uma distribuição de sucção dentro da amostra consistente com os valores aplicados nos extremos do corpo de provas (topo e base). O ensaio por vazão constante gera uma distribuição de sucção não linear na altura do corpo de prova, ou seja um gradiente de sucção, o que pode acarrear erros importantes na obtenção do valor do coeficiente de permeabilidade. Para uma mesma vazão, o erro é inversamente proporcional à altura do corpo de provas, mas o tempo necessário para atingir a situação permanente também cresce. Para o mesmo equipamento, quando analisada a metodologia de carga

constante obtém-se uma distribuição da sucção vertical mais próxima à linear, o que reduz o erro associado ao cálculo da permeabilidade.

Embora a metodologia de vazão constante apareça como uma solução na redução do tempo de ensaio, as vazões necessárias para gerar um perfil de sucção vertical linear são muito pequenas e obrigam a utilização de tempos de ensaio elevados. Tanto dos resultados das simulações como dos resultados experimentais, pode concluir-se que a técnica de carga constante se apresenta como mais apropriada para a determinação da permeabilidade não saturada.

Pela configuração do equipamento, aplicação de pressão de água central e de pressão de ar no anel externo, existe uma distribuição não uniforme da vazão na secção transversal, tanto nos ensaios de vazão constante quanto carga constante. Este fato levou a correção da área utilizada nos cálculos, utilizando-se uma área reduzida igual à área dos discos porosos.

Das simulações é possível concluir que a escolha do elemento poroso de alta entrada de ar é fundamental na distribuição interna da sucção, no tempo necessário para atingir o regime permanente e no valor máximo de sucção atingida no interior do corpo de prova. Nos ensaios de carga constante, indica o valor máximo de permeabilidade que pode ser medido. Já nos ensaios de vazão constante, o tempo necessário para atingir esse valor.

Os resultados das simulações também permitiram aperfeiçoar o procedimento de ensaio. Observou-se que a aplicação de um valor constante de pressão de ar e de valores diferentes de pressões de água (no topo e na base), ou seja, de um gradiente de sucção não apresenta diferenças importantes com respeito à metodologia de ensaio originalmente utilizada (valores diferentes de pressão de ar e de água para ter uma sucção constante), na distribuição interna das sucções, das velocidades e no tempo necessário para atingir a condição de equilíbrio. Pelo que o processo de aplicação das pressões foi simplificado.

Com relação às modificações efetuadas no equipamento de permeabilidade, elas resultaram corretas e permitiram melhorar a resposta do equipamento. Especificamente, o sistema de medição de variação de volume total se apresenta como uma alternativa interessante aos sistemas mencionados na literatura, no entanto, precisa ser testado com outros materiais para confirmar sua aplicabilidade.

Dos ensaios de permeabilidade pode concluir-se, confirmando o observado nas simulações numéricas, que quem limita o tempo de ensaio é a permeabilidade saturada do elemento poroso. A escolha do elemento poroso

deve estar relacionada com a faixa de sucção de interesse para reduzir a duração dos ensaios.

As curvas da função de permeabilidade obtidas experimentalmente apresentaram dois limites, um superior correspondente com o valor saturado e um valor inferior a partir do qual a função apresenta um patamar. O ajuste da função de permeabilidade, quando empregado o mesmo modelo de ajuste, tem parâmetros diferentes aos obtidos para a curva característica de sucção. Sendo a função de permeabilidade é mais sensível à variação da saturação.

Apresentou-se uma nova função de ajuste, considerando a presença de um valor limite inferior, em função dos resultados experimentais. Esta nova função permite um melhor ajuste dos valores experimentais, para os dois solos ensaiados. A existência de um limite inferior de permeabilidade não saturada apresenta-se como um comportamento fisicamente mais provável que o observado quando se aplicam os modelos de ajuste convencionais. Mas este comportamento deve ser confirmado ou não com execução de novos ensaios.

8.2.

Sugestões para trabalhos futuros

Em relação aos solos residuais, seria sumamente interessante a execução de ensaios complementares nos perfis analisados, particularmente ensaios de perda ao fogo, porosimetria e determinação dos índices físicos, para complementar o trabalho de análise executado na presente tese e obter uma caracterização mais completa dos solos residuais de Gnaisse do município do Rio de Janeiro.

A técnica de microscopia ótica através do processamento de imagens permite a investigação da distribuição, tamanho e conectividade dos poros, o que pode resultar em uma melhor avaliação da mudança da estrutura em perfis de alteração. Para avançar nesta pesquisa é necessário aperfeiçoar os procedimentos de preparação das lâminas petrográficas.

Recomenda-se a construção de um novo permeâmetro, com aplicação de pressão de ar no meio da amostra e pressão de água no anel externo. Segundo os resultados das simulações, este equipamento apresenta distribuições mais uniformes de velocidades, vazão e os erros associados ao cálculo da permeabilidade são menores que os observados na configuração atual. Além de permitir a utilização de corpos de prova de altura reduzida sem afetar a distribuição de velocidades na secção transversal.

Recomenda-se também a continuação das simulações numéricas para considerar a resposta transiente, no início do ensaio, e a possibilidade de utilizar a metodologia proposta por Morin & Olsen (1987) nos ensaios de vazão constante em solos não saturados.

Recomenda-se também a continuação dos ensaios, nos materiais utilizados na presente tese, com valores de sucção maiores que 100kPa. Para isto será necessária a procura de uma nova membrana permeável ao ar e impermeável à água, já que a membrana utilizada não suporta pressões maiores que 100kPa.

Em relação ao permeâmetro utilizado sugere-se a avaliação da utilização de instrumentação interna para medir sucção, o que permitiria conhecer a distribuição real no interior do corpo de prova, tanto nos ensaios por vazão constante como por carga constante.