

6 Conclusões

O presente trabalho foi realizado com misturas em diferentes proporções de materiais argilosos e arenosos, com o intuito de se obter um maior controle sobre a composição mineralógica, podendo-se assim analisar a influência desta nos parâmetros térmicos. De uma maneira específica foram estudados a condutividade térmica, o calor específico dos solos, o calor específico dos sólidos e a difusividade térmica.

Trabalhou-se com solos compactados com diferentes índices de vazios e teores de umidade gravimétrica. Os solos fabricados foram caracterizados física, química e mineralogicamente.

Foram apresentadas metodologias aplicadas para a determinação dos parâmetros térmicos, na qual aplicou-se a sonda térmica de imersão em solos. A seguir são apresentadas algumas conclusões sobre a condutividade térmica e o calor específico dos solos estudados no presente trabalho.

6.1. Condutividade Térmica

A condutividade térmica dos solos foi determinada pelo método da sonda térmica. Em geral, os resultados obtidos experimentalmente se apresentaram dentro do padrão de comportamento esperado e de acordo com os resultados apresentados na literatura consultada. Os resultados obtidos demonstraram a dependência deste parâmetro em relação à Mineralogia, ao Índice de Vazios e ao Teor de Umidade Gravimétrica.

As areias foram ensaiadas com graus de saturação variados ($S=0\%$ à $S=100\%$) e apresentaram o seguinte comportamento em relação ao índice de vazios: o aumento deste provocou uma redução em sua capacidade de conduzir calor devido ao afastamento entre as partículas sólidas de quartzo, que conduzem melhor o calor do que o ar e a água.

Foi observado que a condutividade térmica das areias aumentou com o aumento do teor de umidade e do grau de saturação para um mesmo índice de vazios, visto que a condutividade térmica da água é 24 vezes maior que a do ar.

A influência do teor de umidade nos resultados de condutividade térmica foi mais significativa que a influência da variação do índice de vazios.

Para o solo C100, argila de baixa atividade composta somente por Caulim, a relação entre o índice de vazios e a condutividade térmica se apresentou bastante dispersa e foi contrária à apresentada pelas areias, ou seja, quanto maior o índice de vazios, maior a capacidade deste solo (C100) de conduzir calor. Tal fato pode ser explicado pela elevação do teor de umidade com o aumento do índice de vazios, o que mostra mais uma vez a maior influência da presença de água nos solos nos valores de condutividade térmica. A dispersão nos resultados se deve à variação simultânea de dois índices físicos, índice de vazios e teor de umidade gravimétrica, que influenciam de formas contrárias nos valores de condutividade térmica.

O solo C80, composto por 80% de Caulim e 20% de Bentonita de alta atividade, apresentou um comportamento particular em relação aos resultados de condutividade térmica. O aumento do índice de vazios foi acompanhado pelo aumento da umidade gravimétrica e como resultado houve uma redução na capacidade deste solo de conduzir calor, o contrário do que aconteceu com o solo C100. Tal fato pode ser explicado pelo aumento da dupla camada difusa de água adsorvida da bentonita afastando as partículas sólidas, e do aumento do teor de sais solúveis com a elevação da quantidade de água, o que reduz a condutividade térmica de argilas montmoriloníticas.

Em relação à influência da mineralogia, os resultados de condutividade térmica apresentados pelos solos argilosos se apresentaram dentro da faixa de valores apresentados pelas duas areias não saturadas. As areias quando saturadas apresentaram maior capacidade de conduzir calor do que as argilas e o solo areno-argiloso (CB40), e, quando secas, menor condutividade térmica, mesmo sendo compostas por 100% de quartzo, o mineral de maior condutividade térmica conhecido.

Para baixas umidades, o solo C80, composto por 20% de bentonita, apresentou condutividade térmica mais elevada que o solo C100, composto por 100% de Caulim. Para índices de vazios mais elevados a situação se inverte e o solo C80 passa a apresentar uma menor capacidade de conduzir calor. Tal fato pode estar relacionado com o aumento da camada dupla difusa de água adsorvida e do teor de sais solúveis da bentonita, devido à elevação da quantidade de água presente no solo C80, o que faz com que a condutividade diminua. No solo C100, o aumento da umidade com a elevação do índice de vazios melhoram sua capacidade de conduzir calor.

Os solos CB40 e CB60 saturados apresentaram resultados entre os solos C100 e C80 saturados, mostrando novamente que a presença da bentonita causou a redução da capacidade dos solos de conduzir calor, pois como contêm areia em sua composição, tais solos deveriam apresentar resultados mais elevados que as argilas puras. O solo CB60 saturado apresentou menor condutividade térmica que o CB40, o que já era esperado, pois possui maior porcentagem de argila em sua composição.

De acordo com o que foi observado, a influencia da mineralogia está associada à quantidade de água presente nos solos, ou seja, uma areia pode apresentar maior ou menor capacidade de conduzir calor do que uma argila, dependendo do seu estado de saturação.

Existem na literatura algumas formulações propostas para determinar a condutividade térmica dos solos em função da umidade gravimétrica e do grau de saturação. No presente trabalho foram aplicadas as formulações propostas por Kersten (1949), Johansen (1975) e Ewen (1988). Em geral, as formulações propostas por Kersten (1949) e Johansen (1975) se aplicaram melhor para os solos argilosos C100 e C80, com diferença média de 19% entre os resultados experimentais e os valores estimados. Vale ressaltar que tal diferença é mais significativa quando se tenta estimar valores de condutividade térmica mais elevados, podendo fornecer resultados que não condizem com a realidade. O ajuste de Ewen (1988) se aplicou bem a todos os solos analisados, entretanto, este método se apresenta pouco prático, visto que é um ajuste de curva e para utilizá-lo é necessário se obter antes os resultados experimentais. Tal método pode ser utilizado para se determinar os expoentes A, B e C presentes na formulação para diferentes tipos de solos ou determinadas regiões.

6.2. Calor Específico

Para estimar o calor específico dos solos estudados e ensaiados neste trabalho foi utilizada a formulação proposta por Abu-Hamdeh (2003). Os resultados obtidos experimentalmente se apresentaram dentro do padrão de comportamento esperado, de acordo com os resultados apresentados na literatura consultada. Os resultados obtidos demonstraram a dependência deste parâmetro em relação à Mineralogia, ao índice de vazios e ao teor de umidade gravimétrica.

As areias secas e não saturadas apresentaram variação pouco significativa nos valores de calor específico dos solos com o índice de vazios. A elevação deste provocou uma ligeira redução no calor específico, pois a diminuição da massa específica reduz a energia necessária para fazer variar de 1^oC a temperatura de um grama (1,0g) de solo. Por outro lado observou-se uma variação significativa nos resultados de calor específico dos solos em função do teor de umidade gravimétrica. Quanto maior a umidade, maior o calor específico para um mesmo índice de vazios, pois a água possui calor específico 4,0 vezes maior que o ar. As areias saturadas apresentaram um aumento significativo do calor específico com a elevação do índice de vazios devido ao aumento da quantidade de água em relação à quantidade de sólidos. A água possui calor específico mais elevado do que os sólidos em geral.

A partir dos resultados estimados obtidos, propôs-se uma correlação para determinar o calor específico de areias quartzosas, que depende apenas do seu teor de umidade gravimétrica.

O solos C100 e C80 apresentaram o mesmo comportamento: quanto maior o índice de vazios, maior o teor de umidade e conseqüentemente, maior o calor específico. Tal fato mostra mais uma vez que a influência da quantidade de água presente nos solos é mais significativa que a influência do índice de vazios.

Em geral, as argilas C100, C80 e CB60 não saturadas e saturadas, e o solo areno-argiloso (CB40) saturado, apresentaram calores específicos mais elevados que as areias não saturadas e saturadas. Seguindo este comportamento, se os solos citados tivessem sido ensaiados compactados secos ou na umidade higroscópica, é provável que os resultados de calor específico também fossem mais elevados que os apresentados pelas areias secas.

O calor específico dos sólidos estimado através da formulação revisada de Duarte (2004) não apresentou bons resultados, os quais variaram com o teor de umidade e com o índice de vazios, o que não deveria acontecer. Observou-se ainda que os resultados obtidos foram mais elevados que os obtidos para o calor específico do solo como um todo, o que também não está coerente, pois este último leva em consideração as parcelas de calor específico dos sólidos, da água e do ar presentes no solo. Tal fato mostra que a formulação apresentada por Duarte (2004) não se aplica para estimar o calor específico dos sólidos dos solos. A hipótese de que os resultados de difusividade térmica fornecidos pela sonda e utilizados nos cálculos do calor específico dos sólidos não estejam corretos deve ser levada em consideração, pois os resultados obtidos não se

apresentaram de acordo com os apresentados na literatura consultada. É importante que seja aplicada outra metodologia para se determinar a difusividade térmica dos solos e estimar o calor específico dos sólidos.

Vale ressaltar que os solos encontrados na natureza possuem composição variada em relação à mineralogia, tipo de flúido ou água presente (doce, salobra ou salgada) e teor de matéria orgânica, sendo que a influência de tais fatores nos parâmetros térmicos dos solos também deve ser avaliada e levada em consideração quando se analisa o fluxo de calor em solos.

6.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

O estudo do comportamento dos parâmetros térmicos de solos ainda é um desafio. Existem muitas pesquisas a serem feitas e questões a serem elucidadas. A seguir são apresentadas algumas sugestões e recomendações para pesquisas futuras, com o objetivo de completar e comprovar os dados apresentados.

Recomenda-se o aprofundamento do estudo dos parâmetros térmicos em solos fabricados argilosos, onde ocorra somente a variação do índice de vazios com relação à umidade.

Com relação à determinação da Difusividade Térmica, deve-se verificar os dados experimentais obtidos através da sonda KD2, desenvolvendo-se ou testando-se metodologias já existentes.

Seria interessante estender os estudos de parâmetros térmicos para outros tipos de solos. Recomenda-se o estudo de solos argilosos contendo esmectita em sua composição.

Como ainda não existem dados suficientes sobre os parâmetros térmicos, sugere-se que o estudo envolvendo solos fabricados e naturais continue para que se possa montar um banco de dados que balise o conhecimento da variação desses parâmetros para diversos tipos de solos tropicais brasileiros.