1

Introdução

1.1.

Relevância e justificativa da Pesquisa

O solo é um material complexo e em diversas situações não atende às exigências de projeto. Existem diversas alternativas para viabilizar técnica e economicamente a realização do empreendimento, uma delas é a remoção da camada de solo pobre do local e substituição por outro material mais adequado às solicitações. Porém, esta substituição gera problemas ambientais relacionados com o bota-fora do material de baixa qualidade. Outra forma, é melhorar as propriedades do solo existente com a inclusão de algum estabilizante, ajustando as características do solo melhorado com aquelas exigidas.

Existem inúmeras técnicas de melhoramento das características do solo. De acordo com Van Impe (1989), o melhoramento do solo é, provavelmente, uma das técnicas mais antigas, porém, do ponto de vista técnico, ainda bastante intrigante.

A competitividade do mercado gera uma busca intensa pelo desenvolvimento de materiais geotécnicos que proporcionem soluções que atendam aos requisitos de projeto e que sejam de baixo custo, tornando assim o empreendimento viável economicamente.

Dentre as técnicas mais utilizadas pode-se citar a estabilização e reforço de solos com a adição de agentes cimentantes e a utilização de elementos discretos como as fibras.

O reforço do solo com fibras foi utilizado há mais de três mil anos, pelos babilônios. Neste mesmo período, os chineses empregavam fibras naturais de bambu ao solo como técnica de reforço.

No entanto, com os avanços da engenharia de materiais, novos tipos de fibras, mais resistentes, foram desenvolvidos e substituindo as fibras vegetais. A utilização dessas fibras

foi diversificando, de forma que hoje se possui diversos materiais originados de fibras sintéticas.

O reforço oferece melhorias ao material como maior trabalhabilidade, menor condutividade hidráulica e maior resistência. Compósitos são o resultado da combinação das propriedades dos materiais constituintes, formados pela matriz de solo e o reforço.

Compósitos de solo-fibra tem sido objeto de estudos experimentais e numéricos conduzidos por diversos pesquisadores nas últimas décadas em vários países (e.g.: Hoare, 1979; Gray & Ohashi 1983; Gray & Al- Refeai, 1986; Freitag, 1986; Maher & Gray, 1990; Fatani *et al.*, 1991; Maher & Ho, 1993; Ranjan *et al.*, 1996; Oancea, 1996; Michalowski & Zao, 1996; Wasti & Butun, 1996; Consoli *et al.*, 1998, Kumar *et al.*, 1999; Santoni *et al.*, 2001; Kaniraj & Havanagi, 2001; Zornberg, 2002) e no Brasil (e.g.: Ulbrich, 1997; Consoli *et al.*, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003-a, 2003-b, 2003-c, 2004, 2005, 2007-a, 2007-b, 2009; Montardo, 1999; Feuerharmel, 2000; Specht, 2000; 2004; Montardo *et al.*, 2002; Homem, 2002; Heineck, 2002; Casagrande & Consoli, 2002; Casagrande *et al.*, 2002, 2006; Heineck & Consoli, 2002; Donato, 2003, 2007; Donato *et al.*, 2002, 2004; Vendruscolo, 2003; Heineck *et al.*, 2003-a, 2003-b, 2005; Santos, 2004; Specht *et al.*, 2002, 2006; Santos, 2008; Maeda & Ibraim, 2008).

Apesar de um número significativo de publicações de estudos experimentais dos mais diversos tipos de solos reforçados com fibras estarem disponíveis, observa-se uma forte carência sob o ponto de vista das simulações numéricas.

Neste trabalho o Método dos Elementos Discretos (MED) é a ferramenta numérica utilizada a fim de estudar o mecanismo das fibras utilizadas como reforço, distribuídas aleatoriamente em uma matriz granular.

A opção por utilizar a modelagem micro mecânica deve-se à intenção de estudo do comportamento descrito entre a matriz de solo e as fibras, em uma micro-escala, e assim poder evitar os ajustes matemáticos utilizados na mecânica dos meios contínuos que avaliam o comportamento global.

Essa estratégia computacional foi proposta por Cundall & Strack (1979), que a definem como um modelo numérico capaz de descrever o comportamento mecânico de um conjunto de disco ou esferas. No entanto, outros trabalhos mostraram que o mesmo método pode ser aplicado para partículas com diversas formas geométricas (Jensem *et al.*, 1997) ou também aglomerados de partículas (Thamas & Bray, 1999).

O MED baseia-se na formulação do equilíbrio de forças e de deslocamentos gerados pelos contatos, os quais são descritos através das leis da física clássica, que permitem o mapeamento dos movimentos de cada partícula, considerando a interação entre elas. A base discreta incorporada nesse método computacional torna a abordagem numérica dos problemas descontínuos bastante fieis às leis da natureza.

Dentro deste contexto, esta pesquisa procura avaliar a utilização do Método dos Elementos Discretos (MED) como ferramenta de modelagem para análise micro-mecânica de solos reforçados com fibras, para entender melhor como estes compósitos se comportam diante das solicitações e oferecer um caminho alternativo para avaliar a utilização deste reforço; a aplicação do método dos elementos discretos para a modelagem micro-mecânica do comportamento de solos reforçados com fibras.

1.2.

Objetivos

O objetivo principal é estudar o comportamento micro-mecânico de solos granulares reforçados com fibras de polipropileno, com variação no teor de fibras, analisando-se a interação entre partículas e fibras. Dessa forma, a partir de simulações podemos descrever o comportamento de uma fibra em uma micro-escala.

Para atingir o objetivo previsto, será avaliado o comportamento tensão-deformação de compósitos simulados, a influência da adição de fibras no ganho de resistência do material reforçado relacionado com o material sem o reforço e a variação dos parâmetros de resistência dos materiais em função da adição de fibras.

A pesquisa procura avaliar também a aptidão do Método dos Elementos discretos como ferramenta de modelagem para análises micro-mecânicas de solos reforçados.

1.3.

Organização da Pesquisa

O trabalho está dividido em cinco Capítulos, onde o Capítulo 1 é o capítulo introdutório.

Inicialmente, a pesquisa se concentrou em conceitos e na compreensão do comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno, com o objetivo de indicar os fatores que fazem com que a adição deste material atue no aumento da resistência de solos granulares. Desta forma, o Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o Reforço de Solos com Fibras.

No Capítulo 3 o Método dos Elementos Discretos é apresentado, assim como o programa base no qual serão implementadas as formulações específicas para as fibras.

No Capítulo 4, as formulações matemáticas que descrevem os fenômenos comportamentais das fibras observados em pesquisas experimentais. Após as formulações matemáticas seguem-se as implementações numéricas na biblioteca DEMlib.

O Capítulo 5 apresenta os resultados das simulações numéricas a partir de ensaios biaxiais e hidrostáticos, afim de alcançar a representatividade da modelagem. Serão executados ensaios virtuais biaxiais e hidrostáticos em solos reforçados, com o objetivo de se analisar a influência das fibras no comportamento de solos granulares. A comparação com os resultados experimentais foi de extrema importância para se avaliar o fenômeno de aumento de resistência com a adição de fibras.

E finalmente no Capítulo 6 serão apresentadas as Conclusões sobre o comportamento de solos reforçados, e sugestões para trabalhos futuros.