

1 Introdução

Movimentos de massa são fenômenos naturais, atuantes na modificação do relevo de áreas montanhosas. Com a ocupação humana dessas regiões, esses processos naturais podem ser influenciados pela ação antrópica e sua ocorrência pode ser desastrosa, causando perdas de vidas humanas e prejuízos financeiros.

Sidle e Ochiai (2006) apresentam um levantamento de vários episódios de movimentos de massa, destacando-se como exemplo extremo, uma corrida de massa acontecida em 1921 na China, responsável por aproximadamente 180.000 mortes. Amaral (1997) apresenta dados referentes aos maiores escorregamentos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro entre 1986 e 1996, os quais causaram a destruição de 413 residências, 1 hospital e a perda de 123 vidas. O mesmo autor apresenta a soma de 190 milhões de dólares investidos, entre 1988 e 1996, a fim evitar desastres associados a escorregamentos.

Os fatores intervenientes nos processos de instabilização podem ser agrupados em três categorias, em função do efeito causado: modificação do estado de tensões totais do maciço, modificação dos parâmetros de resistência do solo e alteração dos valores de poropressão, seja elevação da poropressão positiva ou decréscimo nos valores de sucção (e.g. Gerscovich, 1994).

O processo de infiltração da água oriunda das chuvas no solo não saturado causa modificações nos valores de umidade e, conseqüentemente, nos valores de sucção associados. A redução da sucção acarreta perda de resistência não saturada pela diminuição de coesão aparente (e.g. Lu e Likos, 2004). Com a evolução do processo de infiltração, partes do maciço tornam-se saturadas e ocorre o surgimento de poropressões positivas, causando alterações no estado tensões efetivas. Dessa maneira, torna-se fundamental a análise do fluxo em meios saturados-não saturados, com a finalidade de aplicarem-se os resultados obtidos na avaliação da estabilidade de encostas.

Devido à não-linearidade presente na equação de Richards, a qual descreve o fluxo em meios saturados-não saturados, soluções analíticas somente são

possíveis em casos muito simples, que não condizem com as condições geométricas e de contorno encontradas em problemas reais.

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma ferramenta numérica, utilizando o método dos elementos finitos, para solução da equação de Richards na análise de fluxo saturado-não saturado monofásico em bacias de drenagem (Paniconi et al, 1993), visando à aplicação dos resultados gerados na avaliação da estabilidade de encostas.

A área das regiões a serem estudadas é comumente da ordem de quilômetros quadrados, exigindo malhas de elementos finitos de grandes proporções. A fim de se contornar as limitações associadas aos requisitos de memória computacional e tempo de processamento, métodos numéricos eficientes devem ser empregados na solução do problema.

Neste trabalho utiliza-se o método quasi-Newton BFGS (Matthies e Strang, 1979; Bathe e Cimento, 1980) na solução da não-linearidade e um esquema de armazenamento de matriz esparsa, associado ao método de gradiente bi-conjugado, na solução do sistema de equações.

Em paralelo, desenvolve-se uma rotina para geração da malha tridimensional de elementos finitos, a qual, a partir de uma malha de elementos triangulares representando o relevo da área de estudo, gera a malha de elementos finitos prismáticos, utilizada nas análises.

Complementarmente, aproveita-se a estrutura da malha de elementos finitos, utilizada na discretização espacial do problema de fluxo, para o cálculo aproximado do fator de segurança à escorregamentos translacionais rasos, através do método do talude infinito. Obtém-se assim, um mapa que mostra a evolução do fator de segurança no tempo, com o avanço da frente de infiltração e eventual saturação do perfil de solo, durante eventos pluviométricos. Essa abordagem segue linha semelhante à utilizada em outros trabalhos objetivando a geração desses mapas de suscetibilidade à escorregamentos translacionais rasos (Okimura e Kawatani, 1986; Montgomery e Dietrich, 1994; Wu Sidle, 1995 e Baum et al., 2002), no entanto, incorpora o fluxo não saturado transiente (Baum et al., 2002) e suas conseqüências sobre a resistência do material.

Esta dissertação se estrutura em 6 capítulos:

No segundo capítulo são introduzidos conceitos básicos associados ao fluxo saturado-não saturado, potenciais, curva característica, função de condutividade

hidráulica e é apresentada a equação de Richards. Discorre-se brevemente sobre os aspectos relacionados à resistência ao cisalhamento de solos não saturados e a influência do fluxo saturado-não saturado na estabilidade de taludes.

O terceiro capítulo refere-se aos dos métodos numéricos utilizados, problemas relativos à conservação de massa, solução do problema transiente e da não-linearidade, armazenamento das matrizes e solução do sistema de equações, geração de malha, análise de estabilidade, entre outros. Apresentam-se os procedimentos aplicados no cálculo de estabilidade, além do fluxograma da ferramenta numérica desenvolvida.

O quarto capítulo apresenta os exemplos de validação da ferramenta desenvolvida, englobando problemas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

O capítulo 5 trata da aplicação da ferramenta desenvolvida na área das bacias dos rios Quitite e Papagaio, em Jacarepaguá no Rio de Janeiro, atingida por um grande evento de movimento de massa em 1996. Este exemplo tem por finalidade a demonstração da potencialidade da ferramenta, não se constituindo em uma retro-análise.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.