

6 Conclusões

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta numérica, aplicando o método dos elementos finitos na análise do fluxo saturado-não saturado, em escala de bacia de drenagem, com aplicação à estabilidade de encostas.

A validação do código gerado foi feita através de diversos exemplos que abrangeram situações de fluxo 1D, 2D e 3D, variando-se o tipo de condição de contorno adotada. Os resultados obtidos foram comparados com resultados gerados por programas já consagrados no meio técnico (HYDRUS 1D, SWMS 2D e SWMS 3D), apresentando boa concordância. Atribuem-se as diferenças observadas em alguns exemplos, a questões relacionadas ao tipo de elemento finito utilizado, métodos de solução e critérios de convergência. De maneira geral os resultados foram considerados satisfatórios e a ferramenta adequada ao fim a que se destina.

A utilização de elementos de grandes dimensões, com elevada razão de aspecto, diminui a precisão do método, no entanto, considera-se essa perda aceitável, em face do caráter aproximado da solução que se deseja obter.

A simplificação relativa à condição de contorno atmosférica, apresentada no exemplo 4.2.3 e no exemplo de aplicação, introduz uma fonte de erro, entretanto, a economia de tempo de análise, obtida pela diminuição do número de iterações na solução do problema não-linear, torna essa metodologia atraente. Atenção deve dada aos nós de fronteira do domínio em estudo, onde o efeito das simplificações adotadas se mostra mais pronunciado.

Os métodos empregados para solução da não-linearidade foram: Picard e BFGS. O BFGS apresentou problema de convergência no exemplo de validação 3D, onde foi necessária a adoção de um valor de armazenamento específico para atingir-se a convergência, sendo que o método de Picard convergiu sem a necessidade dessa consideração. Em todos os outros exemplos somente o BFGS foi empregado e seu desempenho foi satisfatório. Sua utilização é atraente já que a

montagem das matrizes elementares e globais é feito somente uma vez a cada passo de tempo, tornando o processo de solução mais veloz em modelos de grande porte.

Os algoritmos utilizados para armazenamento de matriz esparsa e o método do gradiente bi-conjugado se mostraram eficientes, possibilitando a solução de problemas de grande porte (da ordem de centenas de milhares de nós) em tempo aceitável e com economia de memória computacional.

No exemplo de aplicação analisou-se uma região de encosta formada por duas bacias (Quitite e Papagaio) em Jacarepaguá no município do Rio de Janeiro, a qual foi palco de um grande evento de instabilização e corrida de massa, no ano de 1996. O objetivo desse exemplo foi demonstrar a potencialidade da metodologia proposta para geração de mapa de susceptibilidade a escorregamentos translacionais rasos (distribuição espacial do fator de segurança), ao longo do tempo, durante um evento de chuva. Considera-se que a metodologia pode ser utilizada, apesar das simplificações feitas. A variabilidade espacial das propriedades e parâmetros de análise, em áreas extensas como a analisada no exemplo de aplicação, é um importante fator a ser considerado para uma representação mais realista dos fenômenos a serem simulados. Entretanto, uma representação muito detalhada foge do escopo desta ferramenta, cujo fim é uma análise global, que forneça subsídios para outras análises mais criteriosas em escalas menores.

No exemplo de aplicação observaram-se alguns pontos interessantes. A superfície que apresenta fator de segurança mínimo manteve-se sempre na interface solo-rocha para a maioria dos nós, fato tipicamente observado em campo para as condições analisadas. Atribui-se esse comportamento aos valores de carga de pressão iniciais adotados, os quais levam a valores de coesão capilar muito baixos, cuja perda não faz com que a superfície crítica (mínimo FS) se posicione em camadas intermediárias.

Em todas as simulações, o fator de segurança se mostrou muito sensível à variação da carga de pressão na interface solo-rocha após a saturação, apresentando decréscimo acentuado nessa condição, indicando a ruptura.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Implementação de análise acoplada de fluxo superficial, como forma de se considerar o efeito de *runoff*.
- Validação mais criteriosa da metodologia para geração de mapa de susceptibilidade, realizando-se análises mais apuradas e comparando-se os resultados com outras metodologias disponíveis na literatura, citadas neste trabalho.
- Acoplar o gerador de malha desenvolvido a sistemas de informações geográficas como forma de se incorporar a variabilidade de parâmetros de maneira mais racional.