

Estudo Experimental e Análise da Estabilidade de uma Encosta em Camaragibe - PE

Guilherme Teotônio

UFPE, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil, guilherme3tls@hotmail.com

Analice Lima

UFPE, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil, analicelima@hotmail.com

Jayne Araújo

UFPE, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Brasil, jayne.a.silva@hotmail.com

Samuel Amorim

UFPE, Recife, Brasil, samuel_amorim@msn.com

RESUMO: O crescente número de construções de moradias em áreas de risco, em consequência da invasão antrópica acelerada das encostas sem o devido planejamento, suporte técnico e avaliação dos riscos geológicos/geotécnicos é um problema que ocorre continuamente na Região Metropolitana do Recife. Desta forma, este trabalho apresenta um estudo experimental e numérico de uma encosta do município de Camaragibe-PE, que delimita uma área onde foi construído um supermercado. O programa de investigação geotécnica foi realizado em duas etapas: uma em campo e outra em laboratório. Em campo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solos. No laboratório, executaram-se ensaios para a caracterização física e ensaios de cisalhamento direto para a determinação dos parâmetros de resistência do solo. No ensaio de cisalhamento direto foram ensaiadas amostras na umidade natural e saturada para verificar a variação dos parâmetros de resistência e simular cenários de verão e inverno na análise do cálculo de estabilidade desta encosta. Além disso, foi realizada a análise de estabilidade da encosta estudada utilizando o programa computacional SLOPE/W, onde foi possível fazer uma análise dos diferentes perfis da encosta em estudo e simular estações climáticas diferentes, através da variação da umidade do solo, utilizando os métodos de Ordinary, Bishop, Spencer e Jambu, e assim comparar os diferentes valores de fator de segurança.

PALAVRAS-CHAVE: Estudo Experimental, Análise Computacional, Análise de Estabilidade, Encosta Camaragibe-PE.

1 INTRODUÇÃO

Nas cidades brasileiras, uma grande parte da população de baixo poder aquisitivo, vive em áreas de encostas devido ao êxodo rural associado à falta de planejamento urbano e a diferença entre as classes sociais que favoreceram essa ocupação (LIMA, 2002).

Algumas medidas mitigadoras (drenagem, estruturas de contenção e reforço interno e abatimento do talude), de remediação

(modificação da geometria do talude, drenagem superficial, inserção de drenos sub-horizontais) ou de aplicação de estruturas de contenção (muros de gravidade: crib-wall, gabião, ou reforço interno do talude com: tirantes, solo grampeado) podem ser realizadas, com o objetivo de conter e/ou diminuir os movimentos de massas.

A estabilidade de taludes tem sido um tema continuamente estudado, pois as condições de estabilidade são desiguais para os diferentes

materiais que compõem o solo e rocha, assim como a instabilidade dos mesmos podem envolver perdas econômicas e de vidas humanas (PINTO *et al.* 2001). Um exemplo disto são os acidentes que ocorrem todos os anos no período de inverno no Brasil, nos estados de Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, em áreas de encostas onde está localizada a população de baixo poder aquisitivo.

Deste modo, é de fundamental importância o desenvolvimento de estudos na área experimental e na área numérica para analisar a estabilidade de taludes, a fim de evitar acidentes decorrentes dos deslizamentos de encostas e buscando diminuir ou evitar as consequências desastrosas, ou seja, danos sócio-econômicos.

Com esta finalidade, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo experimental e a análise computacional em uma encosta do município de Camaragibe-PE. Esta encosta tem sua relevância à medida que, está delimitando uma área onde foi construído um supermercado.

O programa de investigação geotécnica foi realizado em duas etapas: uma em campo e outra em laboratório. Em campo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solos. No laboratório, executaram-se ensaios para a caracterização física e ensaios de cisalhamento direto para a determinação dos parâmetros de resistência do solo. No ensaio de cisalhamento direto foram ensaiadas amostras na umidade natural e saturada para verificar a variação dos parâmetros de resistência e simular cenários de verão e inverno na análise do cálculo de estabilidade desta encosta.

Além disso, foi realizada a análise de estabilidade da encosta estudada, utilizando o programa computacional Geo-Slope International (2012), o GeoStudio - SLOPE/W, em que permitiu fazer uma análise do perfil da encosta em estudo e simular diferentes estações climáticas, verão e inverno, através da variação da umidade do solo, utilizando os parâmetros obtidos em laboratório com o solo no estado natural e saturado. As análises de estabilidade foram realizadas utilizando os métodos de Ordinary, Bishop, Spencer, Jambu e Morgenstern-Price, comparando os diferentes

valores de fator de segurança e verificando a estabilidade desta encosta.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Características Geológicas

A encosta selecionada para estudo está localizada próxima a uma das principais avenidas do município de Camaragibe-PE. Camaragibe é um dos 14 municípios que constitui a Mesorregião Metropolitana do Recife do Estado de Pernambuco.

Segundo BANDEIRA (2003), no município de Camaragibe, destacam-se basicamente, dois conjuntos morfológicos diferentes: as planícies e os morros. As áreas altas são constituídas por terrenos em sua maior parte ativos (imaturos), que compreende 80% do relevo do município, sendo compostos por tabuleiros com vales verticalizados com configuração em V, instalados principalmente nos sedimentos da Formação Barreiras. A porção sul do município apresenta relevos mais maduros, com as suas formas mais arredondadas e com vales abertos que quase sempre estão relacionados aos solos residuais.

A área em estudo apresenta uma unidade geológica classificada como Formação Barreiras, com mudanças de energia das águas durante a deposição do pacote sedimentar, que foram constatadas com as características das amostradas coletadas.

A Figura 1 apresenta o mapa geológico do Município de Camaragibe, indicando a localização da encosta em estudo, na escala 1:10.000, realizado a partir dos dados de BANDEIRA (2003). Nesse mapa geológico, pode-se observar que a região da encosta em estudo está localizada em uma área de Formação Barreiras ratificando a classificação geológica das amostras coletadas em campo.

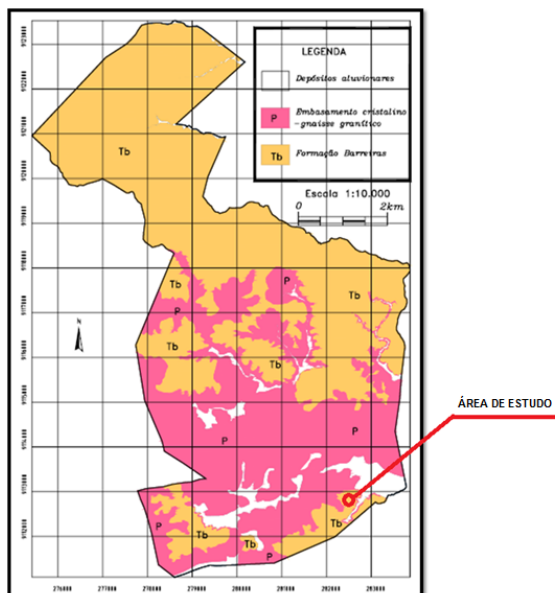


Figura 1. Mapa geológico do Município de Camaragibe. FONTE: Modificado de BANDEIRA (2003).

2.2 Características Climáticas e Pluviométricas

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região se encaixa com As', ou seja, tropical úmido com estação chuvosa de outono-inverno e verão seco. Caracteriza-se por ter períodos distintos de estiagem e chuva, com um período úmido curto e período longo seco.

As temperaturas máximas concentram-se no período de novembro a março, podendo ultrapassar 30° C, apresentando médias entre 24,6° C e 27,6°C e mínimas entre 21,8° C a 24,2° C (BARROS et. al., 1994).

As precipitações medidas foram obtidas na APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), nos anos de 2011 a 2015, através do pluviômetro mais próximo do talude analisado neste trabalho, posto situado na Prefeitura Municipal de Camaragibe. Os dados registrados são mostrados na Figura 2, onde se observa que as precipitações mais elevadas ocorrem em maio de 2011 (em azul) com valor de 751,1 mm e mais baixas em novembro de 2012, com cerca de 8,8 mm (em cinza).

As chuvas estão concentradas nos meses de janeiro a agosto, com precipitações médias mensais neste período variando entre máxima de 355,02 mm e mínima de 112,66 mm. O período que vai de setembro a dezembro pode ser considerado de baixa precipitação, as médias mensais variam entre máxima de 105,3 mm e mínima de 64,0 mm.

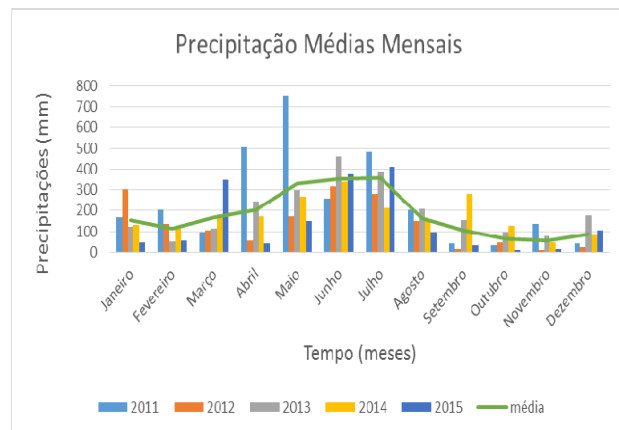


Figura 2. Gráfico com as precipitações médias mensais registradas nos anos de 2011 a 2015. Pluviômetro situado no Posto da Prefeitura de Camaragibe.

2.3 Características da Encosta Analisada

A área da encosta analisada localiza-se na Avenida Doutor Belmiro Correia, bairro Timbi, Camaragibe – PE. A escolha da área do talude para a análise de estabilidade foi influenciada por estar próxima a construção de um supermercado. A Figura 3 apresenta um corte da face estudada, mostrando característica do solo de cor laranja creme avermelhada, possivelmente, devido ao teor de ferro presente em este solo.



Figura 3. Corte da face do talude estudado com perfil de solo.

3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO

3.1 Coleta de Amostras

Foram coletadas amostras deformada e indeformada no coroamento da encosta, no início de setembro de 2015, correspondente ao período de verão. A amostra indeformada foi a

tipo bloco, coletada a uma profundidade de 0,4 m, onde a moldagem do bloco foi realizada com auxílio de espátulas, do qual se retirou excesso de solo do topo e das laterais deste, com o objetivo de se obter a seção quadrada com dimensões de 0,30 m x 0,30 m de base e altura de 0,30 m. O excesso de solo escavado para moldar a amostra do bloco foi coletado como amostra deformada em sacos de náilon de 10kg, com o auxílio de uma pá e depois foi fechado para o transporte.

A Figura 4 apresenta as etapas de acondicionamento do bloco. Primeiro, a amostra foi envolvida por um filme plástico (Figura 4A), seguido de papel alumínio no topo e nas faces (Figura 4B), depois por tecido de algodão preso por fita adesiva (Figura 4C) e por último foi aplicado parafina com o auxílio de pincéis (Figura 4D), a fim de evitar perda de umidade natural do solo. Depois de todo o revestimento executado no topo e nas faces, cortou-se a base do bloco colocando uma caixa de madeira em cima, após ter colocado serragem no topo (Figura 4E). Logo depois, a amostra foi virada e os procedimentos mencionados anteriormente foram seguidos para proteção da base da amostra (Figura 4F). Em seguida, ao redor da amostra (entre a amostra e a caixa) foi colocado serragem para preencher os espaços vazios, com o objetivo de diminuir a influência mecânica de vibrações no transporte da amostra. Por fim, fechou-se a caixa com a tampa de madeira.

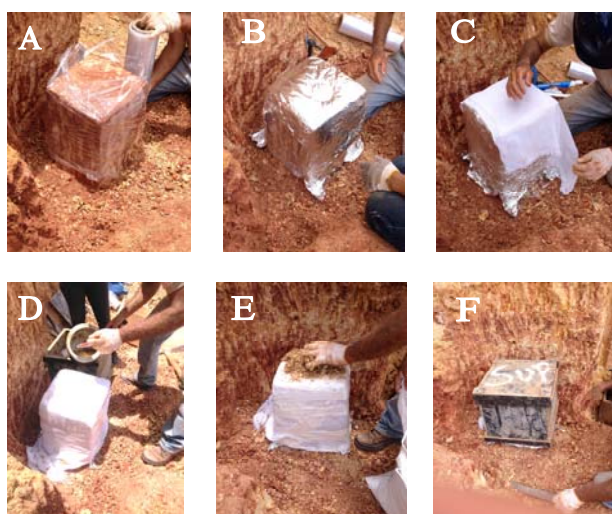


Figura 4. Coleta e acondicionamento das amostras indeformadas.

4 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE LABORATÓRIO

4.1 Ensaios de Caracterização

Os ensaios de caracterização que foram executados no presente estudo, referem-se à determinação da umidade, peso específico, granulometria (com e sem defloculante) e limites de Atterberg, de acordo com os procedimentos das Normas da ABNT.

A partir dos ensaios realizados foram obtidos parâmetros de teor de umidade de 17,90% (caracterizando a amostra de solo como seco); peso específico dos grãos do solo da amostra de 2,635 g/cm³; limite de plasticidade de 23,16%; limite de liquidez de 36,39%; índice de plasticidade de 13,23% (caracterizando este solo como medianamente plástico); índice de consistência de 1,40% (caracterizando-o como dura); índice de liquidez de -0,40% (caracterizando a amostra como argila pré-adensada) e através do ensaio de granulometria (ensaio de peneiramento e ensaio de sedimentação com defloculante e sem defloculante) foi possível classificar a amostra de solo como uma argila arenosa, de acordo com o diagrama trilinear textural do Bureau of Public Roads. A Figura 5 apresenta a curva granulométrica obtida com o ensaio de granulometria e sedimentação, em que foi possível caracterizar a amostra como um solo medianamente uniforme e mal graduado, por meio do coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura, respectivamente. Nesta mesma figura, observa-se um aumento na porcentagem de areia e um decréscimo na porcentagem de argila na curva sem utilização de defloculante. De acordo com FERREIRA (1995) e FUCALE (2000), o que ocorre não é redução da fração de argila. Na verdade, a argila não dispersa, ficando em flocos de maiores dimensões.

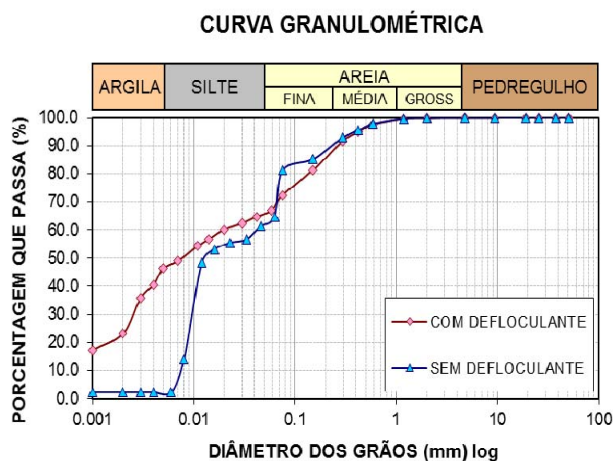


Figura 5. Curva granulométrica obtida no ensaio de granulometria e sedimentação.

4.2 Ensaios de Cisalhamento Direto

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados no Laboratório de Solos e Instrumentação, da Universidade Federal de Pernambuco – LSI/UFPE, com um equipamento produzido pela Contenco indústria e Comércio LTDA, como mostra a Figura 6. Foram ensaiadas séries de 3 corpos de prova nas tensões verticais de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, com duas umidades iniciais – natural e saturada (por representar a pior situação para deflagração dos escorregamentos nas encostas, caracterizando invernos rigorosos). A velocidade constante determinada para a realização do ensaio foi de 0,483 mm/min (com o objetivo de proporcionar uma condição drenada de carregamento). A velocidade adotada está ligada ao coeficiente de adensamento (c_v), por refletir as características do solo, compressibilidade e permeabilidade. Os procedimentos do ensaio obedeceu as recomendações de HEAD (1980).



Figura 6. Aparelho de cisalhamento direto.

As Figuras 7 e 8 apresentam as deformações horizontais e tensões cisalhantes obtidas ao longo dos ensaios em condição natural (CN) e em condição inundada (CI), respectivamente. Então, pode-se observar que as amostras ensaiadas na umidade natural e inundada apresentaram tensões de cisalhamento máximas ou de pico para as tensões normais aplicadas de 50, 100 e 200 kPa. O comportamento desse tipo de solo se assemelha ao da argila pré-consolidada, isto é, apresenta tensão cisalhante máxima para pequenas deformações. Na Figura 7 também observa-se um pico a deformação horizontal de 5,5% na amostra ensaiada com tensão normal de 200kPa, isto pode ser devido a algum pedregulho existente na amostra.

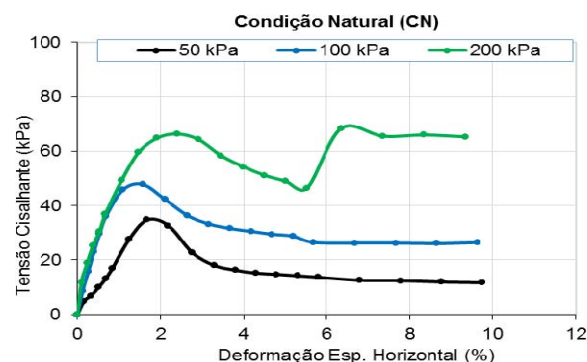


Figura 7. Evolução da tensão cisalhante pela deformação horizontal com a amostra na condição natural (CN).

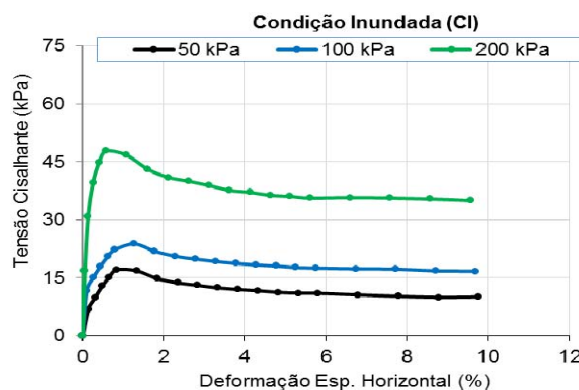


Figura 8. Evolução da tensão cisalhante pela deformação horizontal com a amostra na condição inundada (CI).

A Figura 9 apresenta as envoltórias da resistência do solo na condição de umidade natural e inundada. Na amostra com umidade natural, a coesão (c) foi igual a 25,57kPa e o ângulo de atrito (ϕ) igual a 10°. Na amostra inundada os valores obtidos foram $c = 5,02\text{kPa}$ e $\phi = 14^\circ$. Assim, observou-se que a medida que as amostras foram inundadas ocorreram

elevadas perdas de coesão e uma menor variação do ângulo de atrito. A diminuição da coesão está relacionada com a perda da resistência, afetando com isso a estabilidade da encosta.

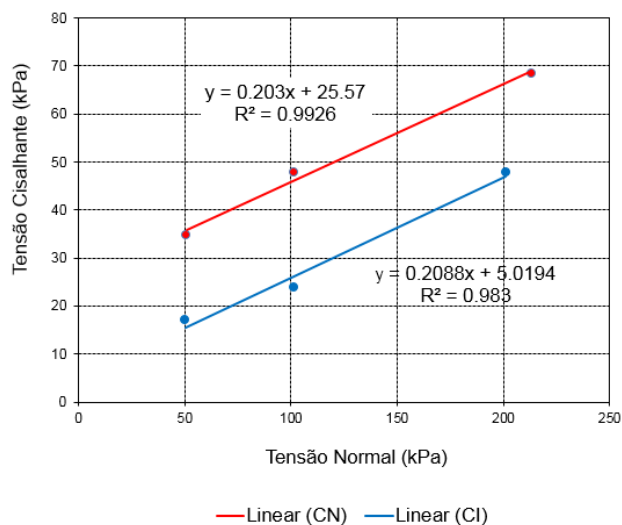


Figura 9. Envoltória de resistência para a condição natural (CN) e condição inundada (CI)

5 ANÁLISE NUMÉRICA

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando o programa Geo-Slope International (2012), versão estudante, SLOPE/W e os métodos de análise utilizados neste presente trabalho foram: Ordinary, Bishop, Spencer, Jambu e Morgenstern-Price, com a finalidade de comparar os resultados encontrados de Fatores de Segurança (FS). Para a análise e o estudo do FS foram estudados dois cenários simulando estações climáticas diferentes: verão (considerando parâmetros c e ϕ na condição de umidade natural) e inverno intenso (considerando parâmetros c e ϕ na condição inundada). Assim, a diferença entre as estações de verão e inverno para análise da estabilidade da encosta, foi realizada por meio da variação da umidade do solo. O nível de água não foi considerado nas análises, porque o ensaio de sondagem a percussão (SPT), fornecido pela construtora e realizado no pé do talude, não mostrava o nível de lençol freático.

Os resultados obtidos em campo (inclinação e geometria do talude) e laboratório (ensaios de caracterização e cisalhamento direto) foram inseridos como dados de entrada no programa,

para obter-se uma análise coerente com as características reais da região.

Os parâmetros do solo, como coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ), variam com relação a umidade presente no solo, principalmente a coesão, que decresce com o aumento dela, como relatado anteriormente na análise do ensaio de cisalhamento direto.

A Figura 10 e 11 mostram os resultados da análise de estabilidade no verão e inverno intenso, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os valores de FS para cada método de análise de estabilidade utilizado. Pode-se observar que o método de Bishop apresentou os maiores valores nos dois cenários estudados.

Tabela 1. Fator de segurança para os diferentes métodos de cálculo de estabilidade de encostas com variação da umidade do solo.

Método de análise	Fator de segurança	Estações
Jambu	2.677	VERÃO
	1.181	INVERNO
	2.830	INTENSO
Spencer	2.832	VERÃO
	1.284	INVERNO
	2.832	INTENSO
Bishop	2.832	VERÃO
	1.286	INVERNO
	2.776	INTENSO
Ordinary	2.776	VERÃO
	1.208	INVERNO
	2.830	INTENSO
Morgenstern-price	2.830	VERÃO
	1.284	INVERNO
		INTENSO

Por outro lado, o método de Jambu foi o que apresentou os menores valores de FS, em relação aos outros métodos, até mesmo valores inferiores ao método rigoroso de Morgenstern-Price.

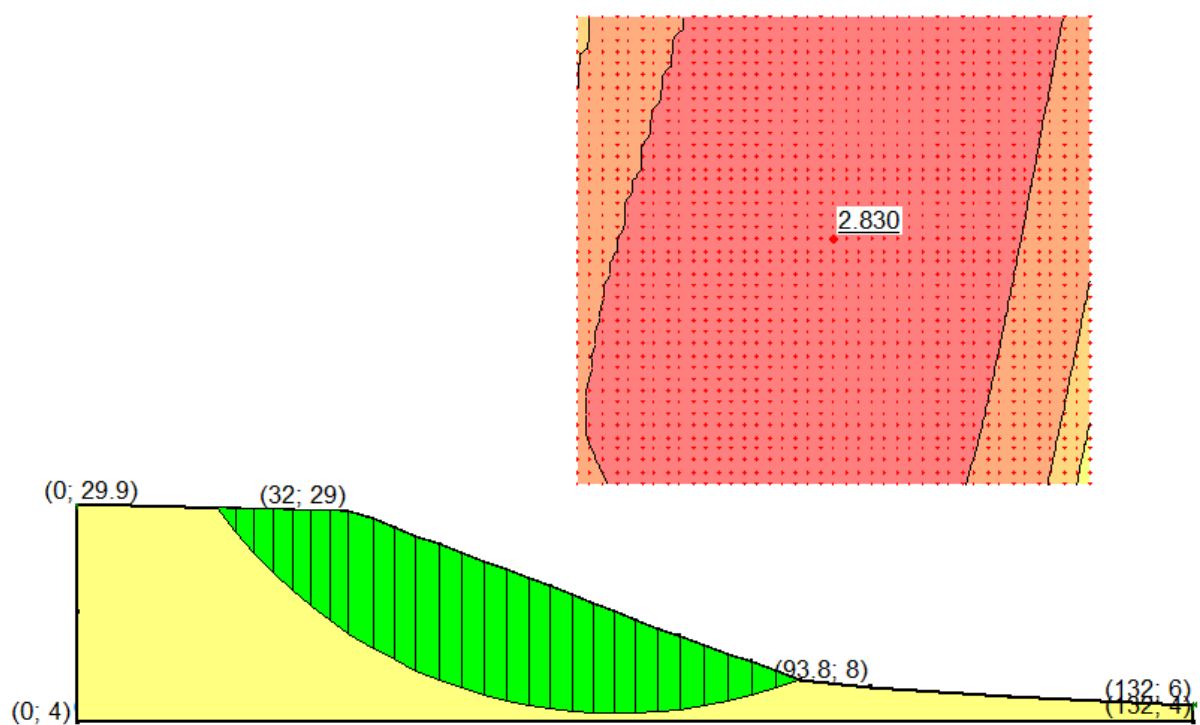


Figura 10. Análise da estabilidade da encosta no cenário de verão, pelo método Morgenstern-Price.

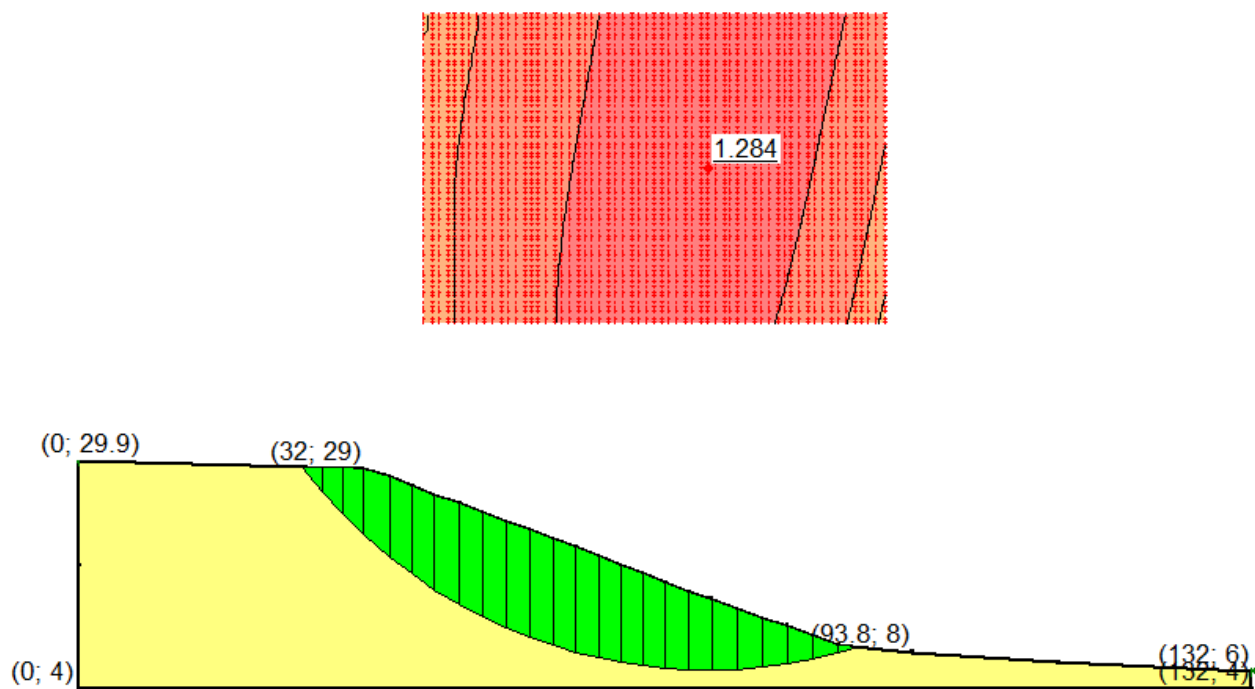


Figura 11. Análise da estabilidade da encosta no cenário de inverno intenso, pelo método Morgenstern-Price.

Através da análise dos valores de fatores de segurança obtidos, pode-se concluir que em períodos de menor precipitação o FS alcança um valor mínimo de 2.832, não ocorrendo nenhum perigo elevado de deslizamento ou de instabilidade. Com o aumento das precipitações, ou seja, na estação de inverno intenso (condição em que a amostra está inundada), o menor fator de segurança, em relação a esse cenário, decresce para 1.181, e a superfície de deslizamento torna-se mais próxima à superfície o que aumenta extremamente a probabilidade de ocorrer deslizamento e o risco de instabilidade. Essa diminuição decorre principalmente devido a perda da resistência ao cisalhamento na parcela da coesão, e também, pelo aumento do peso específico do solo. Isso pode ser observado na Figura 12, em que mostra como o fator de segurança da encosta varia com a estação do ano e/ou nível de água: o fator de segurança decresce no período inverno intenso e/ou com a presença do nível de água.

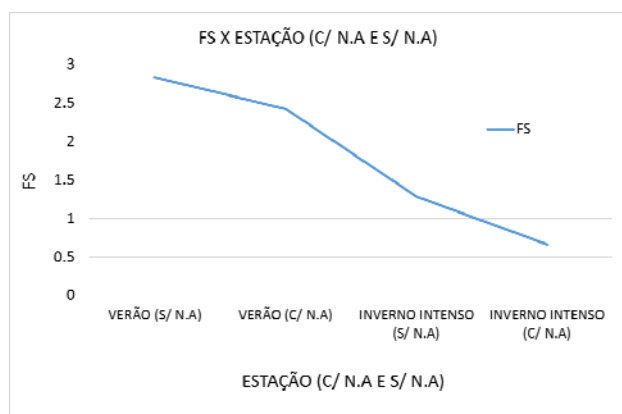


Figura 12. Variação do FS calculados pelo método de BISHOP com a umidade do solo e nível de água.

6 CONCLUSÕES

O estudo da estabilidade de encostas, por meio da análise do Fator de Segurança, obtida através de diagnósticos computacionais, é de grande relevância, para prevenir ou eliminar grandes e graves acidentes que atingem significativa parte da população.

Os solos da Formação Barreiras da encosta analisada apresentaram de uma forma geral a seguinte característica: no período de verão e sem nível de água, o fator de segurança obtido

pelo método Jambu foi de 2,677, reduzindo para 1,181 no período de inverno intenso sem nível de água. Essa diminuição do valor do fator de segurança nos diferentes cenários ocorreu devido à redução do parâmetro de resistência do solo (c), devido ao acréscimo de umidade do solo.

O talude mostra-se mais instável durante o período de inverno intenso e estável no período de verão, devendo-se recorrer a um método de contenção adequado e viável para evitar acidentes por deslizamento, que possam vir a ocorrer no período chuvoso.

REFERÊNCIAS

- BANDEIRA, A.P. (2003). “Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe – PE”, Tese de Mestrado, UFPE, Recife-PE.
- BARROS, A.H.C.; ENCARNACAO, C.R.F.; REIS, A.C.S.; LACERDA, F.F.; SILVA NETO, J.R.; FERREIRA, N.S. (1994). “Climatologia das estações experimentais do IPA”. LAMEPE, Recife, 136 p.
- FERREIRA, S.R.M. (1995). “Colapso e Expansão de Solos Naturais não Saturados Devidos à Inundação”. Dissertação de doutorado, Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- FUCALÉ, S. P. (2000). “Comportamento de Variação de Volume devido à Inundação em Alguns Solos Colapsíveis do Estado de Pernambuco”. Dissertação de mestrado, Recife. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências.
- HEAD, K.H. (1994). “Manual of Soil Laboratory Testing”. New York, Vol. 2 John Wiley & Sons, 440p.
- LIMA, A. (2002). “Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da formação barreiras na área urbana da cidade do Recife”. Dissertação de mestrado, Recife. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências.
- PINTO, Wendell Dias; SABOYA JÚNIOR, Fernando; GATTS, Carlos Eduardo Novo. Avaliação do Potencial de Ruptura de Taludes: Uma Abordagem Fuzzy. Rio de Janeiro: Abms, 2001. 685 p.