

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia
técnica

IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas

IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens

XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia

23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Solos colapsíveis, dispersivos e erodíveis em encostas da Região Metropolitana de Recife/PE: da ocorrência a problemas associados

Larissa Ferreira da Silva

Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, larissa.ferreira@ufpe.br

Silvio Romero de Melo Ferreira

Docente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, silvio.mferreira@ufpe.br

RESUMO: Nas últimas décadas, na Região Metropolitana de Recife (RMR/PE), registros de movimentos de massa vêm sendo observados durante períodos de chuvas, principalmente após índices de precipitação elevados em encostas alteradas pela ação do homem. Algumas dessas ocorrências estão associadas à presença de solos não saturados que apresentam variações de umidade, mudanças de resistência ao cisalhamento e instabilidade volumétrica. O artigo tem por objetivo identificar e analisar na base de dados de solos especiais BANDASE (FERREIRA, 1990) a ocorrência de solos colapsíveis em encostas da RMR/PE de modo a relacionar o comportamento desses com a micro e macroestrutura, dispersividade e o comportamento de variação de volume quando inundado. Constatam-se ocorrências de solos verdadeiramente colapsíveis e condicionados ao colapso em áreas com histórico de deslizamentos e erosão em encostas localizadas nos municípios da RMR/PE: Recife, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Ipojuca, Ilha de Itamaracá e Jaboatão dos Guararapes, cujos problemas em obras de Engenharia variam de sem problemas a problemas muito graves.

PALAVRAS-CHAVE: solos colapsíveis, erosão, dispersividade, resistência ao cisalhamento, encostas, instabilidade volumétrica.

ABSTRACT: In recent decades, in the Metropolitan Region of Recife (RMR/PE), records of mass movements have been observed during periods of rain, especially after high precipitation indices on slopes altered by human action. Some of these occurrences are associated with the presence of unsaturated soils that present variations in moisture, changes in shear strength and volumetric instability. The article aims to identify and analyze in the database of special soils BANDASE (FERREIRA, 1990) the occurrence of collapsible soils on slopes of the RMR/PE in order to relate their behavior with the micro and macrostructure, dispersivity and the behavior of change in volume when flooded. There are occurrences of truly collapsible soils conditioned to collapse in areas with a history of landslides and erosion on slopes located in the municipalities of the RMR/PE: Recife, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Ipojuca, Ilha de Itamaracá and Jaboatão dos Guararapes, whose problems in Engineering works range from no problems to very serious problems.

KEYWORDS: collapsible soils, erosion, dispersivity, shear strength, slopes, volumetric instability.

1 Introdução

A Região Metropolitana de Recife (RMR/PE) há muitos anos convive com os movimentos de massa induzidos nos morros onde mora uma elevada parcela da população, em sua maioria de baixa renda. Constatam-se a ocupação de áreas com elevadas declividades, inundáveis e com solos colapsíveis ou com camadas de argila mole, que deixam as populações residentes nestes locais sujeitas às inundações periódicas e deslizamentos, levando a perda de vidas e bens, gerando um ônus ambiental, social e financeiro para as cidades assim ocupadas (PFALTZGRAFF, 2007).

A presença de solos colapsíveis em encostas da RMR/PE foi verificada em Recife (LIMA, 2002; SANTOS, 2018), Cabo de Santo Agostinho (LAFFAYETE, 2006), Camaragibe (MAGALHÃES, 2013; SOUZA, 2014), Ipojuca (ALMEIDA, 2016), Ilha de Itamaracá (BEZERRA, 2019) e Jaboatão dos



Guararapes (RAMOS, 2019). Esses solos apresentam instabilidade devido ao aumento da umidade, o que implica na diminuição da resistência e no aumento da deformabilidade, devendo-se ainda considerar a influência da carga aplicada.

A Região Metropolitana de Recife (RMR/PE) possui uma área de aproximadamente 3.216 km² e é atualmente composta de 15 municípios (Recife, Cabo de Santo Agostinho, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, São Lourenço da Mata, Abreu e Lima, Camaragibe, Itapissuma, Ipojuca, Araçoiaba e Goiana), de acordo com o Projeto de Lei Complementar Nº 1.739/2017.

Devido a sua localização geográfica, a RMR/PE recebe inúmeros sistemas meteorológicos de grande escala, responsáveis pelos altos totais pluviométricos anuais e por ocasionar os fenômenos de chuvas intensas. Aliado aos problemas inerentes à acelerada urbanização, a RMR/PE tem a maior parte do seu território composto de morros, o que reflete em diversos problemas de movimentos de massa (SILVA, 2018).

Segundo dados do IBGE (2018), Recife apresenta o segundo maior contingente populacional da Região Nordeste em áreas de risco de movimentos de massa e inundações, com 206.761 habitantes (13,4% da população total do município), seguido de Jaboatão dos Guararapes com 188.026 habitantes (29,1% da população total do município). Os municípios de Camaragibe, Ipojuca, Cabo de Santo Agostinho e Ilha de Itamaracá também se destacam entre os municípios da RMR/PE com um número considerável de moradores em domicílios situados em áreas de risco, com 29.026, 6.215, 1.585 e 1.487 habitantes em condições de vulnerabilidade, respectivamente.

Grande parte dos deslizamentos e erosões que evoluem para voçorocas, na RMR/PE, registra-se em áreas ocupadas pela unidade geológica Formação Barreiras. Trata-se de uma unidade que recobre o embasamento cristalino e as unidades sedimentares cretáceas, que por suas próprias características granulométricas e mineralógicas, aliado à elevada declividade das bordas dos tabuleiros (forma morfológica típica da ocorrência dessa unidade), são facilmente erodíveis (PFALTZGRAFF, 2007).

Destaca-se ainda que algumas dessas ocorrências de movimentos de massa também estão associadas à presença de solos não saturados que apresentam variações de umidade, mudanças de resistência ao cisalhamento e instabilidade volumétrica, verificando-se que algumas camadas dos solos superficiais ou subsuperficiais em encostas na RMR/PE apresentam solos colapsíveis, algumas vezes associados ao comportamento dispersivo e erodível.

A estrutura, o estado tensinal associado a umidade e a aplicação de tensão externa em solos colapsíveis é a base do seu comportamento de variação de volume com a mudança de umidade ou sucção. Segundo Mendonça (1990), as partículas granulares de grandes dimensões são mantidas em suas posições pela presença de algum vínculo (material e/ou tensão) cuja atividade é susceptível a uma redução total ou parcial quando umedecidas. Trata-se de solos cujos materiais possuem granulometria variando de silte a areia fina ou uma mistura de areia fina, silte e argila, com predominância de areia fina, porém, não há uma faixa granulométrica específica para estes solos, visto que existem vários exemplos na literatura de solos colapsíveis predominantemente argilosos (SOUZA NETO, 2004).

Os solos colapsíveis têm sua origem relacionada com fatores climáticos e com o ambiente geológico. De acordo com Ferreira (1988), a ocorrência desse tipo de solo se dá, principalmente, em regiões de clima tropical, que devido à alternância de estações de relativa seca e precipitação intensa, promove-se a lixiviação da fração fina do solo nos horizontes superficiais, além do déficit de umidade causado pela evapotranspiração maior do que a precipitação, característico de regiões semiáridas e áridas. Porém, têm-se muitos outros exemplos de ocorrências em regiões com outros tipos de clima (VILAR *et al.*, 1981).

2 Metodologia

A proposta para o desenvolvimento do artigo está dividida em três etapas. A primeira consistiu no levantamento de informações gerais sobre a região a ser estudada, além de definições associadas a solos colapsíveis consultando o Banco de Dados de Solos Especiais - BANDASE (FERREIRA, 1990), que teve início em 1990, desenvolvido pelo Grupo de Solos Não Saturados da Universidade Federal de Pernambuco. Na segunda etapa, procedeu-se com a coleta de dados para verificar a ocorrência de solos colapsíveis em encostas na RMR/PE (Figura 1), buscando-se, através da consulta a fontes técnicas, um melhor entendimento do comportamento desses solos frente aos agentes que instabilizam suas estruturas e que podem



comprometer o comportamento do solo nas encostas. Neste artigo, são consideradas as pesquisas desenvolvidas por Lima (2002), Lafayette (2006), Magalhães (2013), Souza (2014), Almeida (2016), Santos (2018), Bezerra (2019) e Ramos (2019), entre aquelas existentes no BANDASE. Como etapa final, foi consolidada a base de dados, identificando-se dentro da RMR/PE as encostas com presença de solos colapsíveis, e apresentando a influência da micro e macroestrutura dos solos na estabilidade das encostas, bem como a classificação destes quanto à colapsibilidade, dispersividade e comportamento erodível.

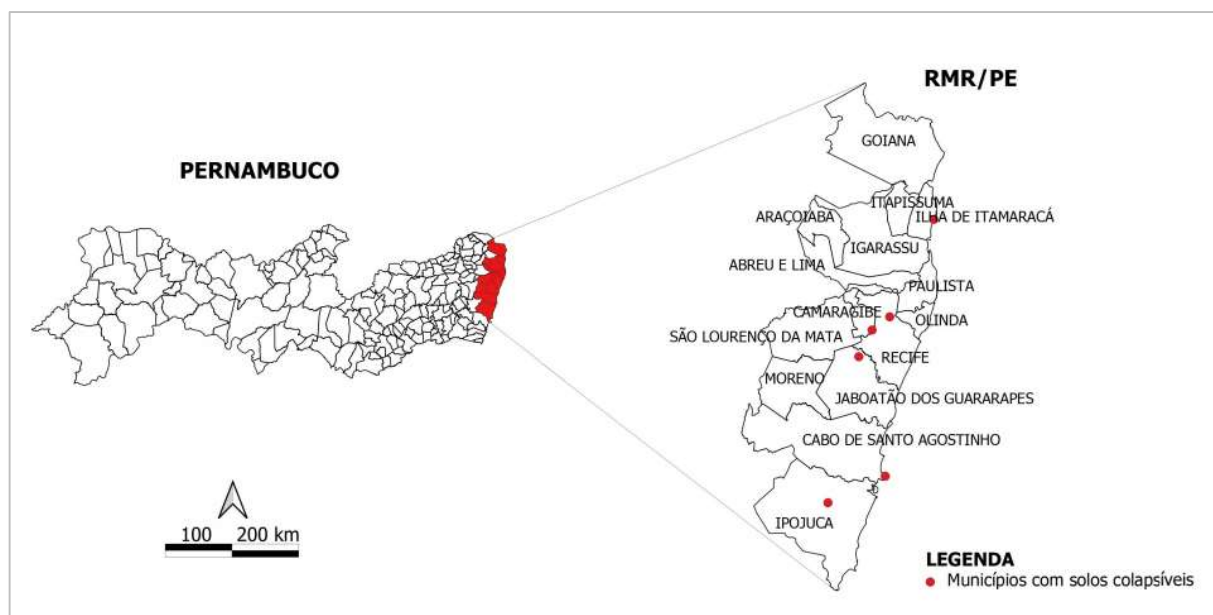


Figura 1. Ocorrência de solos colapsíveis em encostas na Região Metropolitana de Recife (RMR/PE). Fonte: Elaborada pelos autores.

3 Análises e Discussões

Solos colapsíveis são observados em regiões de clima árido e semiárido, no entanto verifica-se que em regiões de clima tropical úmido, como a Região Metropolitana de Recife (RMR/PE), também há registros desse tipo de solo que possui resistência temporária. Os índices pluviométricos elevados, característicos dessa região, agem sobre as vertentes íngremes, provocando a erosão, umedecimento e saturação dos solos, e ocasionando diretamente a deflagração dos deslizamentos.

Em solos estruturados, como os observados em regiões de Formação Barreiras, a exemplo dos morros da RMR/PE, a coesão decorrente de cimentação entre as partículas apresenta uma parcela considerável do efeito resistente do mesmo (SOUSA, 2018). Entretanto, segundo Prietto (2004), os efeitos da estrutura podem ser totalmente ou parcialmente removidos através da remoldagem ou reconstituição do solo, ou através da aplicação de tensões de compressão, tração ou cisalhamento, sendo possível verificar a variação dos valores de intercepto de coesão alterando-se a situação natural para a condição inundada. Logo, é possível que o processo de colapso se desenvolva nessas áreas de encosta com solos da Formação Barreiras pela quebra das ligações dos agentes cimentantes que podem ser desfeitas pela diminuição da sucção em períodos chuvosos, ocasionando uma redução da resistência ao cisalhamento do solo do talude.

Alguns resultados de ensaios edométricos duplos demonstraram (Figuras 2A e 2B), pelo critério de Reginatto e Ferrero (1973), que os solos das encostas da RMR/PE são classificados como solos verdadeiramente colapsíveis e condicionados ao colapso (Figura 2C). Segundo Jennings e Knight (1975), os solos apresentam-se desde sem problemas até problemas muito graves, considerando a tensão de inundação de 200 kPa (Figura 2D). Pelo critério Vargas (1978), todos os solos foram considerados colapsíveis, no entanto alguns, para determinadas tensões, apresentam $PC < 2\%$.

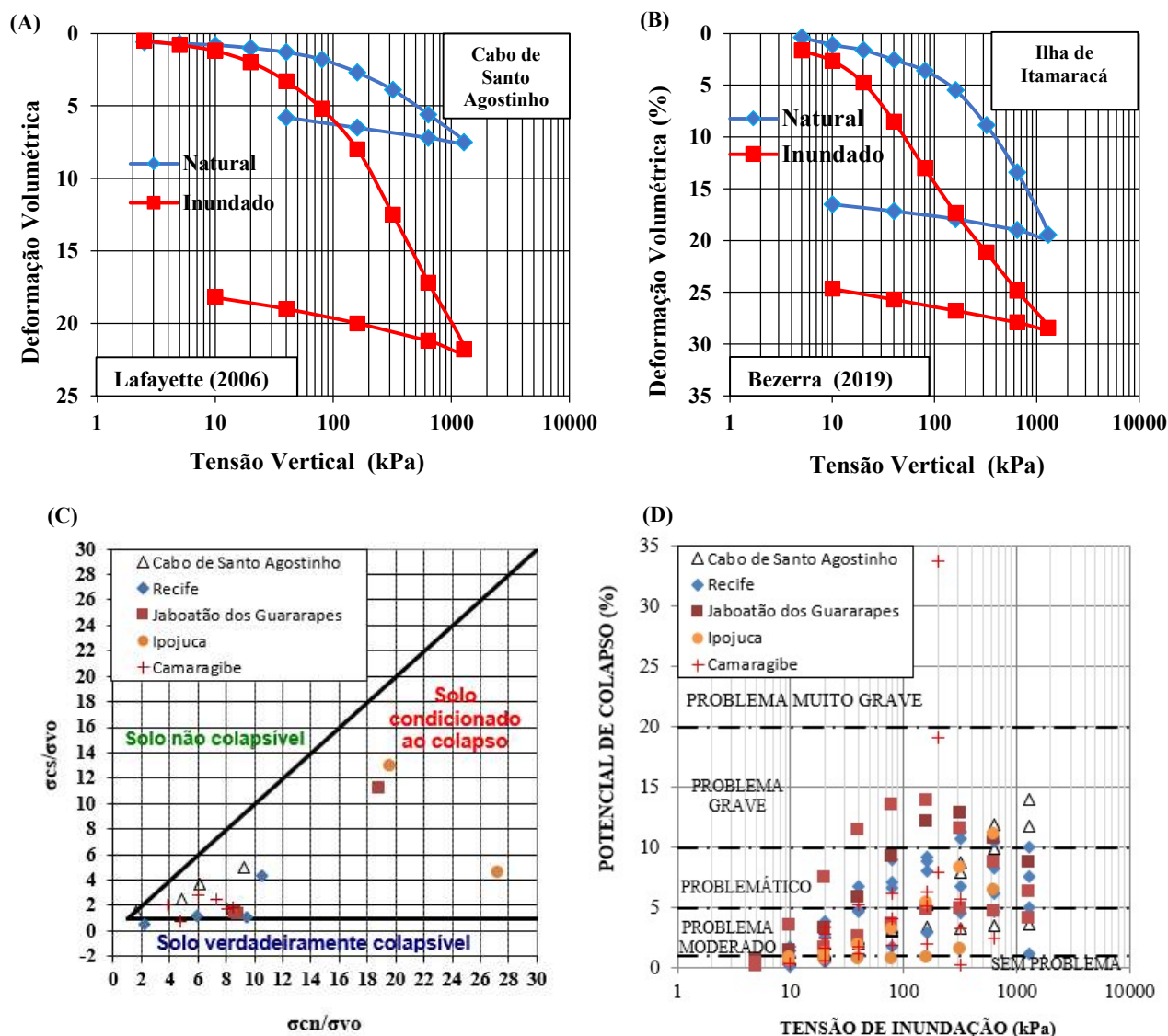


Figura 2. Classificação da colapsibilidade dos solos das encostas da RMR/PE. (A) Ensaio edométrico duplo – Cabo de Santo Agostinho (B) Ensaio edométrico duplo – Ilha de Itamaracá. (C) Critério de Reginatto e Ferrero (1973). (D) Critério de Jennings e Knight (1975). Fonte: Elaborada pelos autores.

Os solos da encosta do Alto do Reservatório, no bairro de Nova Descoberta, em Recife-PE, são classificados, pelo sistema unificado de classificação dos solos (S.U.C.S), como CL (argila inorgânica de baixa plasticidade) no ombro da encosta e como SC (areia argilosa) na base da encosta (LIMA, 2002). São solos não erodíveis e não dispersivos, segundo os ensaios com e sem o uso de defloculante. Os resultados do ensaio de cisalhamento das amostras retiradas do ombro e da base da encosta do Alto do Reservatório, indicam que o solo, ao receber água de precipitações ou servidas sofre diminuição significativa de uma das parcelas da sua resistência, que é a coesão, o que afeta a estabilidade da encosta. A coesão (c) da amostra de solo do ombro da encosta na umidade natural decresceu de $c = 28$ kPa para $c = 10$ kPa na condição inundada. De forma semelhante, a amostra de solo da base da encosta apresentou $c = 84$ kPa na condição natural, reduzindo a parcela da coesão para 1 kPa na condição inundada. A realização de ensaios edométricos simples e duplos permitiu verificar que as amostras inundadas apresentaram maiores deformações comparadas com as ensaiadas na umidade natural, principalmente a partir da tensão de 20 kPa. O solo do ombro da encosta apresentou maior deformação que o solo da base da encosta, sendo classificado segundo Reginatto e Ferrero (1973), como verdadeiramente colapsível, enquanto o solo da base da encosta está condicionado ao colapso.



Laffayette (2006) identificou nas encostas central e sul do Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti, no Cabo de Santo Agostinho-PE, duas gêneses de solos: uma da Formação Barreiras (areia argilosa, nas camadas mais superficiais) e outra pertencente ao solo residual de granito (argila arenosa, nas camadas mais profundas). Há uma variação nos percentuais de argila e areia, sendo a fração areia predominante a 1,5 m nos solos da Formação Barreiras, e uma maior fração de argila a 4,5 m nos solos residuais de granito. Os ensaios de Pinhole indicaram que os solos possuem comportamento não dispersivo, no entanto os solos da Formação Barreiras apresentaram-se como mais erodíveis que os solos residuais de granito. Nos ensaios de cisalhamento convencional observou-se uma redução nos valores de coesão da condição natural para a condição inundada. Os solos que apresentaram maior redução na coesão foram os solos da Formação Barreiras devido ao maior potencial erodível em relação aos solos residuais de granito. Os solos da Formação Barreiras e residual de granito de ambas as encostas mostraram uma tendência de aumento do potencial de colapso com o carregamento normal, sendo classificados como condicionados ao colapso (REGINATTO e FERRERO, 1973), aceitando uma determinada tensão que dependerá da sua profundidade e do acréscimo de tensão a que será submetido.

O topo, meio e base de uma encosta do Alto do Padre Cícero, em Camaragibe-PE são classificadas como argilas de baixa plasticidade (CL), segundo o sistema unificado de classificação dos solos (S.U.C.S.). Os ensaios de cisalhamento direto demonstraram que à medida que as amostras foram inundadas, ocorreram perdas de coesão e menor variação do ângulo de atrito (MAGALHÃES, 2013). Na comparação dos resultados entre as amostras, a base do talude apresentou os valores mais baixos de coesão, variando de $c = 13,76$ kPa na condição natural para $c = 3,3$ kPa, quando inundada. De acordo com os resultados dos ensaios edométricos simples, os solos do topo e da base da encosta foram considerados solos colapsíveis pela classificação de Vargas (1978). Os ensaios edométricos duplos indicaram que o meio da encosta também pode ser considerado solo colapsível, segundo classificação de Vargas (1978). Pelo critério de Reginatto e Ferrero (1973), as amostras da base da encosta são consideradas verdadeiramente colapsíveis, enquanto as amostras do topo e meia encosta são condicionadas ao colapso. Os solos do topo, meio e base da encosta também podem ser classificados como problemáticos, problemas moderados e problemas graves, respectivamente (JENNINGS e KNIGHT, 1975).

A encosta do Alto do Padre Cícero, em Camaragibe-PE, localizada à leste do local analisado por Magalhães (2013) foi analisada por Souza (2014). O solo apresentou um comportamento de materiais de estrutura porosa na simulação da situação de campo, verificando-se a ocorrência de argila inorgânica de baixa plasticidade (CL) no topo da encosta e areia argilosa (SC) no meio e base da encosta, de acordo com o sistema unificado de classificação dos solos (S.U.C.S.). A encosta foi classificada como sendo de grau de risco alto de erosão e escorregamentos, de acordo com Bandeira (2003). Nos ensaios de cisalhamento direto, as amostras perderam resistência quando considerada a condição inundada, apresentando redução na parcela da coesão e uma discreta variação do ângulo de atrito, principalmente no topo e na base da encosta. A coesão passou de 10 kPa para 1 kPa na amostra do topo, e para a amostra da base da encosta, a diminuição foi de 28,75 kPa para 6,19 kPa. Os resultados dos ensaios edométricos simples mostraram que o topo da encosta mostrou os maiores valores de índices de vazios e também o maior potencial de colapso para a tensão de 200 kPa, dando indícios de que esta região da encosta pode ser a mais susceptível de sofrer maiores deformações ou colapso, quando submetida a determinadas tensões. Todas as amostras foram consideradas colapsíveis para as tensões de 20 e 200 kPa, de acordo com o critério de classificação de Vargas. A classificação dos solos, de acordo com o critério de Jennings e Knight (1975), variou de problemas moderados, para todas as amostras submetidas a tensão de 20 kPa e para a base da encosta quando submetida a tensão de 200 kPa, a problema muito grave, na tensão de 200 kPa no topo da encosta, e problema grave para a tensão de 200 kPa na meia encosta. Através dos resultados dos ensaios edométricos duplos, os solos de ambas as amostras da encosta foram classificados como condicionados ao colapso pelo critério de Reginatto e Ferrero (1973).

O solo da encosta Bela Vista, em Ipojuca – PE, apresenta um comportamento de materiais de estrutura porosa, com grãos maiores, devido ao fato de as partículas finas estarem aglutinadas nas partículas grossas, o que pode influir nas características mecânicas e hidráulicas (ALMEIDA, 2016). Os solos do topo e da meia encosta foram classificados como silte de alta compressibilidade (MH) pelo sistema unificado de classificação dos solos (S.U.C.S.). Os ensaios com e sem o uso de defloculante demonstraram que os solos não apresentam características dispersivas. As perdas de coesão das amostras quando comparados os resultados dos ensaios de cisalhamento nas condições natural e inundada, foram bastante significativas,



passando de 27,5 kPa para 7,3 kPa na amostra do topo da encosta e de 28,3 kPa para 6,9 kPa na amostra do meio da encosta. A análise dos dados dos ensaios edométricos duplos indicou que a região do topo da encosta é a mais propícia a sofrer maiores deformações ou colapso para a condição inundada, por apresentar um maior potencial de colapso que a amostra retirada do meio da encosta. O solo inundado de ambas as amostras é condicionado ao colapso, ou seja, o solo entra em colapso quando inundado e quando carregado (REGINATTO e FERRERO, 1973). Segundo o critério de Jennings e Knight (1975), a amostra do topo da encosta é classificada com grau de colapso problemático, enquanto a amostra do meio da encosta é classificada com grau de colapso moderado.

Santos (2018) analisou duas encostas no bairro de Ibura, em Recife-PE. Na encosta 1 verificou-se a predominância da fração areia, sendo o solo classificado como areia siltosa (SM), de acordo com a classificação unificada dos solos (S.U.C.S.). Na encosta 2, para a profundidade de 1,30m, o solo foi classificado como areia argilosa (SC) e para a profundidade de 5,65m, o solo foi classificado como areia siltosa (SM). Com relação aos ensaios de cisalhamento direto, observou-se uma redução nos parâmetros de resistência devido à inundação. Na encosta 1, o intercepto de coesão diminuiu de 11,30 kPa na condição natural para 2,67 kPa na condição inundada. Na encosta 2, a coesão variou de 26,79 kPa na condição natural para 9,08 kPa na condição inundada. A partir dos resultados dos ensaios edométricos duplos, ambas as encostas são classificadas, pelo critério de Reginatto e Ferrero (1973), como condicionadas ao colapso. Além disso, o maior valor do potencial de colapso encontrado nos dois casos foi de 11% para a tensão de 320 kPa e desta maneira, os solos foram classificados como colapsíveis pelo critério de Vargas (1978) e considerados problema grave por Jennings e Knight (1975).

A avaliação do comportamento mecânico de uma encosta no bairro de Bom Jesus, em Ilha de Itamaracá-PE, foi realizada por Bezerra (2019). A encosta apresenta três patamares, sendo que as camadas mais superficiais são areias argilosas (SC), de acordo com o sistema unificado de classificação dos solos (S.U.C.S.), enquanto as camadas mais profundas correspondem a argilas arenosas (CL). As frações do solo apresentaram alta erodibilidade na maioria das suas amostras nos primeiros patamares da encosta. A análise mineralógica mostrou a presença de elementos como argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro fragmentados, que podem desencadear processos erosivos superficiais. A análise de dispersividade identificou que a maioria das amostras não era dispersiva, indicando que a erosão ocorrida na encosta é um processo basicamente físico. Os resultados dos ensaios edométricos duplos apontaram que os solos da encosta são condicionados ao colapso, segundo o critério de Reginatto e Ferrero (1973).

Ramos (2019) verificou que no solo do topo e da base de uma encosta localizada no bairro de Curado II, no município de Jaboatão dos Guararapes-PE, há predominância da fração areia, sendo o material classificado como areia argilosa (SC) segundo a classificação unificada (S.U.C.S.). No meio da encosta predomina a fração fina e o solo foi classificado como uma argila inorgânica de baixa plasticidade (CL). A razão entre os percentuais de argila do ensaio sem defloculante para o ensaio com defloculante foi igual a zero, apresentando uma fração de argila não dispersiva. Para as condições naturais e inundadas observa-se de forma geral que houve uma redução do intercepto de coesão da condição natural em relação a condição inundada, devido ao fato de o processo de inundação da amostra proporcionar uma diminuição da sucção do solo. Verificou-se que nos solos mais superficiais o potencial de colapso foi superior ao observado na amostra da base. Os solos encontrados no topo e no meio da encosta possuem uma diferença entre a percentagem de argila e areia bem pequena, enquanto no solo da base da encosta, a presença de areia é bem superior à de argila. Os resultados dos ensaios edométricos duplos demonstraram para ambas as amostras que, pelo critério de Reginatto e Ferrero (1973), as camadas estudadas são classificadas como solos condicionados ao colapso. Segundo Jennings e Knight (1975), o topo e o meio da encosta são associados a problemas graves, enquanto a base é um problema moderado. O critério Vargas (1978) indica que os solos de todas as camadas são colapsíveis.

Uma observação importante é que alguns dos solos analisados apresentam caráter expansivo para determinadas tensões aplicadas, aumentando de volume quando inundados devido à absorção de água por parte dos agregados das partículas de argila, cuja atividade também influencia no comportamento dispersivo. Estes solos correspondem aos solos residuais da encosta central de Cabo de Santo Agostinho (LAFAYETTE, 2006) e aos solos da encosta do Alto do Padre Cícero, em Camaragibe-PE (SOUZA, 2014) que apresentam feições erosivas. A Figura 3 apresenta a variação do potencial de colapso/expansão dos solos mencionados.

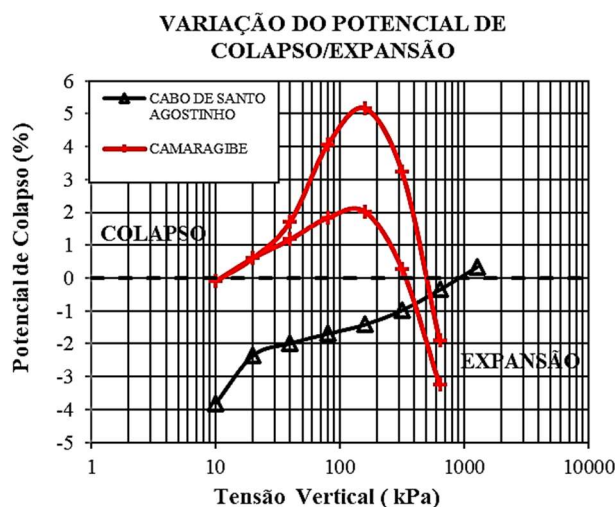


Figura 3. Variação do potencial de colapso/expansão. Fonte: Elaborada pelos autores.

4 Considerações Finais

Solos superficiais e subsuperficiais das encostas da RMR/PE aqui analisados são condicionados ao colapso (o colapso depende da tensão aplicada) ou ainda, verdadeiramente colapsíveis (colapsam sob o peso próprio), de acordo com Reginatto e Ferrero (1973). Além disso, os problemas associados em obras de Engenharia variam de “sem problemas” a “problemas muito graves”, pelo critério de Jennings e Knight (1975), verificando-se que a maior parte das amostras analisadas apresenta “problema moderado”.

O processo de instabilização de encostas também está associado a alteração da micro e macro estrutura do solo, à dispersividade e erosão, e no caso de solos colapsíveis manifesta-se principalmente pela redução da resistência ao cisalhamento do solo devido à inundação. Além disso, verifica-se que a ocorrência de solos colapsíveis não se limita apenas a regiões de clima árido e semiárido e também é possível a manifestação do fenômeno de colapso em camadas de solos argilosos, conforme verificado em encostas da RMR/PE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, R. O. (2016) *Estudo geotécnico e análise de estabilidade da encosta Bela Vista no município de Ipojuca - PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Bandeira, A. P. N. (2003) *Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe-PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Bezerra, J. S. (2019), *Análise do processo erosivo de uma encosta no Bairro de Bom Jesus – Ilha de Itamaracá/PE*. Seminário de qualificação do doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Ferreira, S. R. M. (1990) Banco de Dados de Solos Especiais - Colapsíveis do Estado de Pernambuco In: IX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Salvador - BA. *Anais*, v.2. p.81 – 86.
- Ferreira, S. R. (1988) *Solos Especiais – Colapsíveis, Dispersíveis, Expansíveis*. Relatório Final CNPQ, 156p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). *População em áreas de risco no Brasil*. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101589.pdf> > Acesso em: 25 de agosto de 2021.
- Jennings, J. E.; Knight, K. (1975) Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. *Proceedings. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Durban, p. 99–105.



- Lafayette, K.P.V. (2006) *Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/PE*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Lima, A. F. (2002) *Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da Formação Barreiras na área urbana da cidade do Recife*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Magalhães, J. S. L. A. (2013) *Estudo de estabilidade da encosta Alto do Padre Cícero no município de Camaragibe-PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Mendonça, M. B. (1990) *Comportamento de Solos Colapsíveis da Região de Bom Jesus da Lapa – Bahia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pfaltzgraff, P. A. S. (2007) *Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na Região Metropolitana do Recife*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Prietto, P. D. M. (2004) *Resistência e Dilatância de Solos Cimentados: Uma abordagem Teórico-Experimental*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Ramos, M. C. L. S. (2019) *Estudo geológico-geotécnico e análise da estabilidade de uma encosta localizada no bairro do Curado II no município de Jaboatão dos Guararapes - PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Reginatto, A. R.; Ferrero, J. C. (1973) Collapse potential of soils and soil-water chemistry: Conference. In: VIII International conference on soil mech. Found. Engineering., Moscow, *Anais*, Pergamon, v.2, p. 177-183.
- Santos, A. N. (2018) *Estudos geotécnicos e análise da estabilidade de duas encostas localizadas no Ibura no município de Recife-PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Silva, E. C. (2018) *Variabilidade Espaço-Temporal da pluviosidade da Região Metropolitana de Recife*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Sousa, R. A. (2018) *Resistência e compressibilidade de solos da Formação Barreiras da região de Natal/RN*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Souza, A. P. L. (2014) *Estudos geotécnicos e de estabilidade de taludes da encosta do Alto do Padre Cícero no município de Camaragibe - PE*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Souza Neto, J. B. (2004) *Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso)*. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Vargas, M. (1978) *Introdução à Mecânica dos Solos*, 1.ed., McGraw Hill do Brasil, São Paulo.
- Vilar, O. M.; Rodrigues, J. E.; Nogueira, J. B. (1981). Solos Colapsíveis: Um Problema Para A Engenharia De Solos Tropicais. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro. *Anais*, ABMS, v. 1, p.209-224.