

Erodibilidade de Solos Residuais do Cultural – Juiz de Fora

Mateus Lino Leite

UFJF, Juiz de Fora, Brasil, mateuslleite.93@gmail.com

Isabella Novais Silva

UFJF, Juiz de Fora, Brasil, isabella.novais@engenharia.ufjf.br

Tatiana Tavares Rodriguez

UFJF, Juiz de Fora, Brasil, tatiana.rodriguez@ufjf.edu.br

Márcio Marangon

UFJF, Juiz de Fora, Brasil, marcio.marangon@ufjf.edu.br

Lázaro Lopes Jeronymo

UFJF, Juiz de Fora, Brasil, lazaro.lopes@ufjf.edu.br

RESUMO: O estudo da erosão é de interesse de diversas áreas do conhecimento sendo considerado um tema interdisciplinar. No caso específico da Engenharia Civil, na área de geotecnia, as pesquisas envolvem o estudo da erodibilidade que está diretamente relacionada à capacidade do solo de resistir à ação dos agentes erosivos que, para erosão hídrica, corresponde à ação da água. Os estudos de erodibilidade podem ser realizados através de ensaios de campo e/ou de laboratório, por meios indiretos e diretos. A região de Juiz de Fora é marcada pela existência de feições erosivas de ocorrência natural e antrópicas, principalmente a abertura de estradas e serviços de terraplenagens. Portanto, a determinação do potencial erosivo dos solos da região é fundamental para as obras correntes. Dessa forma objetiva-se neste trabalho estudar a erodibilidade dos solos residuais característicos da região, através de ensaios de laboratório. Para tanto, foram coletadas amostras de dois solos (Rosa e Amarelo) do CULTURAL no bairro Salvaterra. Tais amostras foram destinadas à realização dos ensaios de teor de umidade, massa específica dos sólidos, análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade e ensaio de Furo de Agulha (Pinhole Test), de acordo com as normativas da ABNT. Além disso, foram realizados ensaios para a classificação MCT, segundo o DNER. A análise granulométrica indica que ambos os solos apresentam mais que 60% de silte, sendo classificados como solos siltosos. A avaliação da erodibilidade pelos limites de consistência não correspondeu à realidade e a correlação com a curva granulométrica com deflocuante não foi capaz de diferenciar os dois solos quanto à erodibilidade. Por outro lado, a classificação do MCT e o Pinhole Test evidenciaram que o solo Rosa possui alta erodibilidade, o que condiz com a realidade encontrada in situ.

PALAVRAS-CHAVE: Erodibilidade, MCT, Pinhole Test, Caracterização Física, Ensaio de Laboratório.

1 INTRODUÇÃO

Erosão, no seu sentido mais amplo, é o processo geral ou grupo de processos através do qual os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre

são desagregados, dissolvidos ou desgastados e, simultaneamente, removidos de um lugar a outro por agentes naturais que incluem intemperização, solução, corrosão e transporte. Especificamente, erosão é a destruição

mecânica das terras e a remoção de material (tal como solo) por água corrente (incluindo água de chuvas), ondas e correntes, geleiras ou ventos, (ABNT, 1995). No Brasil, devido às grandes diferenças geomorfológicas, geológicas e o clima tropical ocorrem diferentes tipos de desastres, naturais ou antrópicos, nos quais a erosão possui grande impacto. Como exemplo, para o estado de Minas Gerais, Zuquette *et al.* (2013) classificaram com o índice 3 os danos causados pela erosão, em uma escala de 1 a 5.

A cidade de Juiz de Fora apresenta vários problemas de ordem ambiental devido à urbanização acelerada. Através de sistema de pesos e notas, Rocha *et al.* (2003) elaboraram um mapa de suscetibilidade à erosão da cidade, onde a maior parte da área está classificada como médio e alto grau de suscetibilidade à erosão. Ressalta-se que características como o tipo de solo, declividade e uso e ocupação do solo correspondem à, aproximadamente, 60% do peso atribuído à possibilidade de erosão (ROCHA *et al.*, 2003; FARIA *et al.*, 2003).

Stephan (2010), com o objetivo de utilizar o ensaio de Inderbitzen na determinação de erosões, utilizou solos de três regiões distintas de Juiz de Fora, sendo elas o Morro do Alemão e o bairro Jardim Caiçaras, localizadas na região da Cidade Alta, porção oeste do município; e o bairro Bom Jardim na via de acesso dos bairros Linhares e Vitorino Braga, porção leste do município. Os ensaios foram satisfatórios e evidenciaram a tendência à erodibilidade dos solos estudados, sendo que os provenientes do Morro do Alemão apresentaram a maior perda de solo, e conseqüentemente, a maior erodibilidade.

Visto o cenário da cidade é de suma importância o estudo geotécnico sobre as erosões para a determinação dos parâmetros do solo, a fim de conhecer a intensidade dos processos erosivos e determinar possíveis métodos de controle e recuperação.

Para tanto, os autores deste trabalho vêm desenvolvendo pesquisas relacionadas ao assunto desde 2014, na UFJF, através do projeto de pesquisa “Erodibilidade dos solos de Juiz de Fora” que engloba vários tipos de ensaios geotécnicos e diferentes solos da região.

No presente trabalho, optou-se por apresentar

parte do estudo realizado para um dos locais de estudo. Com isso, objetiva-se neste trabalho a análise comparativa da erodibilidade dos solos residuais do Cultural através de ensaios de Caracterização física, Pinhole e MCT.

2 ERODIBILIDADE

Nos estudos sobre erosão, geralmente se analisa a erosividade e a erodibilidade, sendo que a primeira corresponde à capacidade que a chuva tem de causar erosão nos solos em uma área desprotegida, enquanto a segunda se refere a uma propriedade própria do solo.

Diante das condições climáticas do Brasil, a forma de erosão mais significativa observada é a erosão hídrica, que é provocada por fluxos de água, tanto fluviais quanto pluviais. Tais fluxos provocam escoamentos superficiais e internos no solo. Quando concentrado (escoamento linear), pode haver a formação das feições erosivas, comumente conhecidas como sulcos, ravinas e voçorocas (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006; BRITO, 2012; GUIMARÃES, 2015).

Os sulcos são decorrentes da erosão superficial, sendo gerados, principalmente, pela água das chuvas. A formação de sulcos deve depender da intensidade de precipitação, das vazões superficiais, da distância, da declividade, do microrelevo e, evidentemente, do tipo de solo. A erosão por ravinamento ocorre quando há o aprofundamento de sulcos já existentes, formando a partir daí ravinas (CORREA, 2006; CHEROBIN, 2012). Já o voçorocamento se caracteriza por uma escavação ou rasgão do solo ou da rocha decomposta, tendo como agentes a água superficial e a água subterrânea (GUERRA e GUERRA, 2008). Ressalta-se que outros autores consideram voçorocamento como sendo apenas o aprofundamento das ravinas ou como consequência exclusiva do fluxo interno (CORREA, 2006; PICHLER, 2011).

A fim de quantificar e/ou qualificar a erodibilidade são realizados ensaios de campo e laboratório. O ensaio de Pinhole, considerado como ensaio direto, onde é simulado um escoamento interno através de furo no solo, e a classificação MCT e algumas correlações com

os ensaios de caracterização física, que são utilizadas como maneiras indiretas de relacionar o fator de erodibilidade.

3 ESTUDO DE CASO

O Cultural é localizado na Avenida Deusdedith Salgado, 3955, bairro Salvaterra, Juiz de Fora - MG (Figura 1) onde aparecem feições erosivas, principalmente nos taludes de corte (Figura 2).



Figura 1 - Cultural, Juiz de Fora (Modificado de GOOGLE EARTH, 2016).



Figura 2 - Feições erosivas no talude de corte do Cultural (AUTORES, 2015).

A cidade é marcada pela formação geológica denominada Complexo de Juiz de Fora que é petrograficamente formado por rochas de origem magmática e metassedimentar, estruturalmente se apresentando como migmatitos, gnaisses e cataclasitos e secundariamente como quartzitos encaixados em falhas, sendo abundante a ocorrência de anfibólios, quartzos e feldspato. Especificamente no local de estudo (Cultural) a geologia é caracterizada pela presença de granada charnockito e granada leucogranito

foliados.

No local foram identificados dois solos de colorações distintas: Solo Amarelo e Solo Rosa (Figura 4).



Figura 3 - Solos Rosa e Amarelo encontrados no Cultural (AUTORES, 2015).

4 METODOLOGIA

Para o estudo de erodibilidade foram utilizados os ensaios de caracterização física, que compreendem as principais características do solo, além de obter uma boa quantidade de correlações indiretas com a erodibilidade. A classificação MCT foi utilizada por ser comumente utilizada em taludes de corte próximos às rodovias. E por fim, para estudar o fluxo interno foi realizado o Pinhole Test.

A caracterização física compreende teor de umidade, massa específica dos sólidos, limite de liquidez, limite de plasticidade e análise granulométrica. Os ensaios foram realizados com os passos concernentes às normas da ABNT, sendo a ABNT (1986) para determinação do teor de umidade, ABNT (1984a) para a determinação da massa específica dos sólidos, a ABNT (1984b) e a ABNT (1988a) para a determinação dos limites de consistência e a ABNT (1988b) para a realização da análise granulométrica com defloculante. Para a granulometria sem defloculante, foram usados os mesmos procedimentos explicitados na ABNT (1988b), porém utilizando apenas água destilada no lugar do defloculante. O índice de plasticidade foi calculado pela diferença algébrica entre o limite

de liquidez e o limite e plasticidade.

A classificação MCT foi obtida com base nas normas DNER (1994a), DNER (1994b) e DNER(1994c), a fim de obter a perda por imersão (P_i) e os parâmetros c' , d' e e' . Sendo que P_i é determinado pela curva Mini-MCV em função da perda de massa por imersão quando Mini-MCV = 10; o parâmetro c' corresponde ao coeficiente angular da parte mais retilínea da curva Mini-MCV em função de $A_n - A_{4n}$, para o cilindro em que foi constatado Mini-MCV mais próximo de 10; o parâmetro d' corresponde ao coeficiente angular da reta tangente ao ramo seco da curva de compactação para 12 golpes e o parâmetro e' é determinado pela Equação 1. Com os valores de c' e e' obtém-se a classificação MCT de Villibor e Nogami (2009) apresentada na Figura 4.

$$e' = 3 \sqrt{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (1)$$

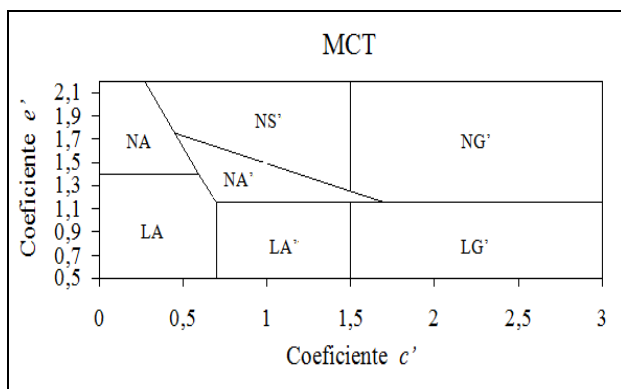


Figura 4 - Carta MCT (MORAES SILVA, 2000).

O Ensaio de Furo de Agulha (Pinhole Test) foi realizado de acordo com a metodologia descrita na ABNT (1998), porém com amostras indeformadas segundo o indicado em Moraes Silva (2000). O procedimento consiste na imposição crescente de estágios de carga hidráulica (2, 7, 15 e 40 polegadas), com concomitante verificação da coloração do efluente e medição da vazão de saída. O tempo de duração de cada estágio e os critérios para finalização do ensaio depende dos resultados encontrados no decorrer do mesmo, conforme fluxograma orientativo extraído de Moraes Silva (2000) e apresentado na Figura 6.

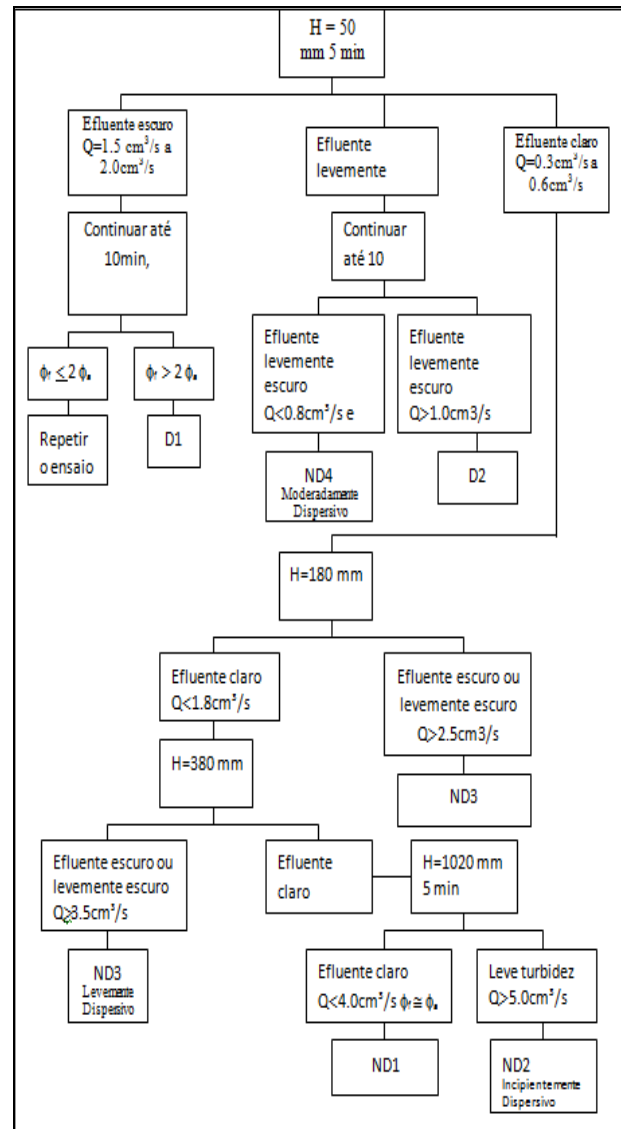


Figura 5 - Fluxograma de critérios e classificações do ensaio (MORAES SILVA, 2000).

5 RESULTADOS

As curvas granulométricas dos solos realizadas com e sem defloculante estão apresentadas nas figuras Figura 6 e Figura 7. Nas curvas com defloculante (CD), o solo Amarelo e solo Rosa são classificados como silte areno-argiloso e silte argilo-arenoso, com mais de 60% de partículas do tamanho silte. Logo seria esperado que estes apresentassem comportamento semelhante, sendo classificados como erodíveis, podendo o solo rosa apresentar-se menos erodível por possuir maior quantidade de argila.

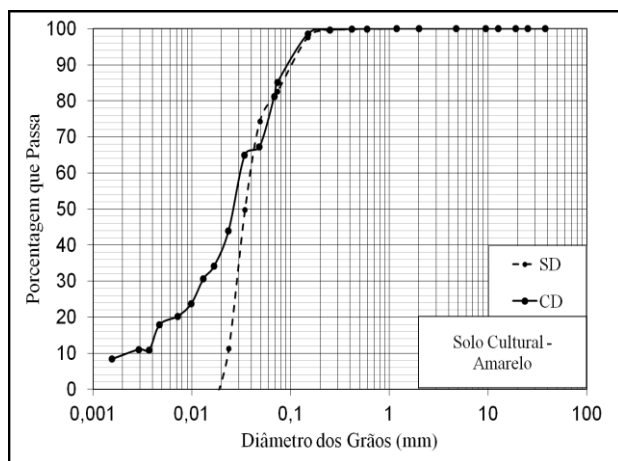


Figura 6 - Granulometria solo Amarelo (AUTORES, 2015).

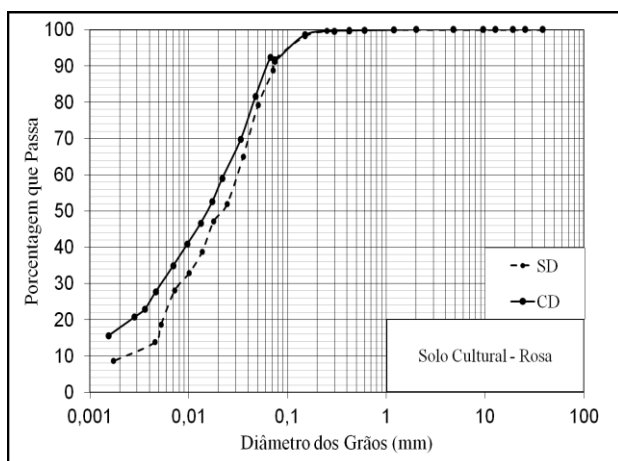


Figura 7 - Granulometria solo Rosa (AUTORES, 2015).

Com as curvas sem defloculante (SD), o solo Amarelo passa ser classificado como silte arenoso. Comparando as curvas com e sem defloculante para cada solo, observa-se que o solo Amarelo apresenta dispersão de 0% (ou grau de floculação de 100%) ao contrário do solo Rosa que apresenta dispersão de 52%. Logo, de acordo com a classificação de Volk (1937) *apud* Araújo (2000), o solo Rosa é considerado altamente dispersivo, enquanto o solo Amarelo é não dispersivo.

A Figura 8 apresenta a curva de compactação do Solo Amarelo para 8, 12 e 16 golpes. O parâmetro d' com valor 27,543 foi obtido da reta tangente ao ramo seco da curva de compactação para 12 golpes. A Figura 9 apresenta a curva Mini-MCV versus a diferença de altura entre n golpes e $4n$ golpes. O parâmetro c' com o valor 0,621 foi obtido da

reta tangente no ponto em que foi constatado o valor de Mini-MCV mais próximo de 10. O valor de P_i foi de 283 e a classificação final para o Solo Amarelo é de NA'.

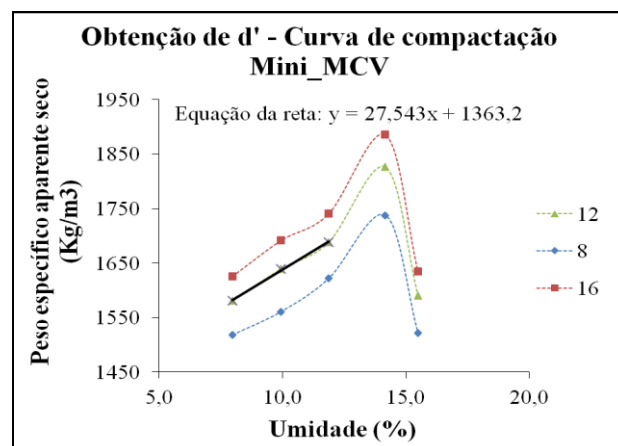


Figura 8 - Curva de compactação MINI-MCV - Solo Amarelo (AUTORES, 2015).

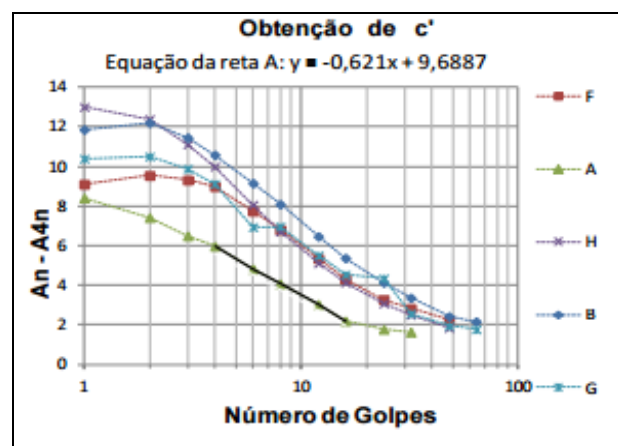


Figura 9 - Curva MINI-MCV versus diferença de altura entre n golpes e $4n$ golpes - Solo Amarelo (AUTORES, 2015).

A Figura 10 apresenta a curva de compactação do solo Rosa para 8, 12 e 16 golpes. O parâmetro d' com valor 29,269 foi obtido da reta tangente ao ramo seco da curva de compactação para 12 golpes. A Figura 11 apresenta a curva Mini-MCV versus a diferença de altura entre n golpes e $4n$ golpes. O parâmetro c' com o valor 1,424 foi obtido da reta tangente no ponto em que foi constatado o valor de Mini-MCV mais próximo de 10. O valor de P_i foi de 304,48 e a classificação final para o Solo Rosa é de NS'.

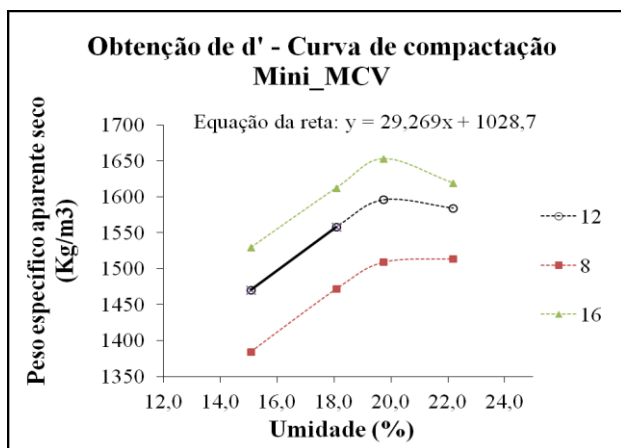


Figura 10- Curva de compactação MINI MCV – Solo Rosa (AUTORES, 2015).

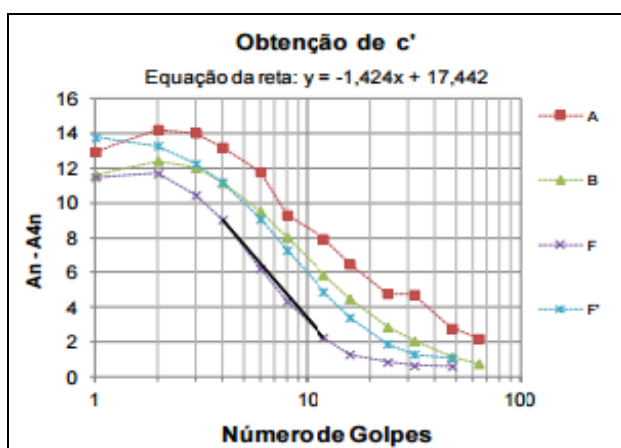


Figura 11 - Curva MINI-MCV versus diferença de altura entre n golpes e 4n golpes - Solo Rosa (AUTORES, 2015).

Considerando a indicação de Bastos (1999), os solos Rosa e Amarelo são erodíveis, sendo que o solo Rosa tenderia a formar sulcos elevados, enquanto o solo Amarelo é de desagregação média.

Nos ensaios de Pinhole (Furo de Agulha), as amostras do solo Amarelo apresentaram uma leve turbidez quando aplicada a carga de 40", sendo que no ensaio 1 (E1) (Figura 12) apresentou efluente claro em descarga, diferentemente, do que o ocorrido no ensaio 2 (E2) (Figura 13), no qual, em descarga, foi constatada grande quantidade de partículas no efluente. Apesar dessa diferença ambos foram classificados como ND2, incipientemente dispersivo.

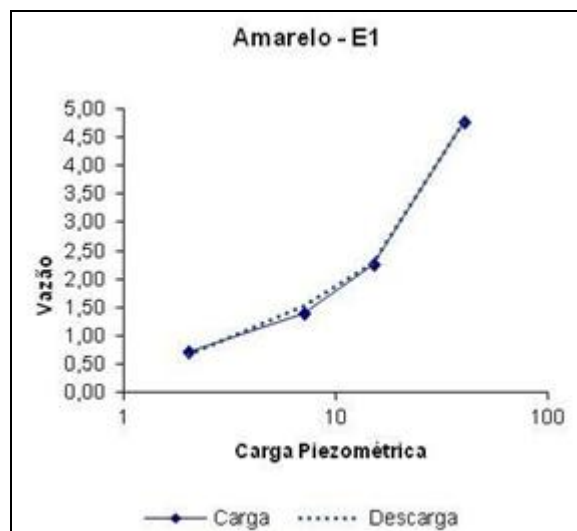


Figura 12 - Curva de descarga E1 - Solo Amarelo (AUTORES, 2015)

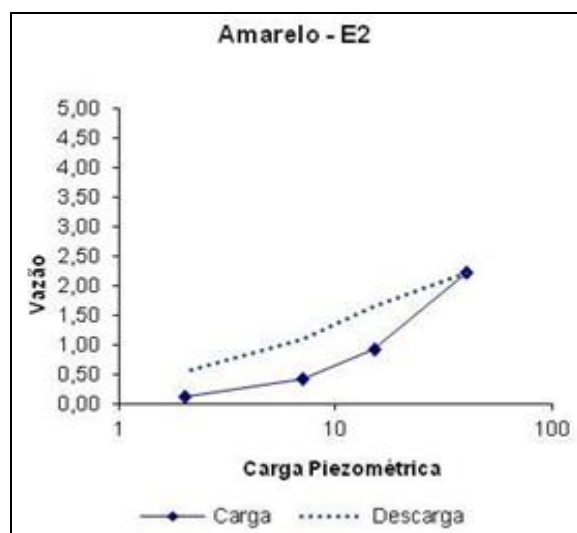


Figura 13 - Curva de descarga E2 - Solo Amarelo (AUTORES, 2015)

No ensaio E2 o gráfico de carga induz à conclusão de que o solo Amarelo tem um comportamento altamente suscetível à erosão, porém ele apresenta esse formato devido ao fechamento do furo após o início do fluxo d'água, levando a água a escoar por caminhos preferencias de percolação devido à geologia do mesmo. Logo se observa que a erodibilidade está ligada à existência de estruturas reliquias, que no caso são fissuras herdadas da rocha matriz.

A amostra do solo Rosa (Figura 14) apresentou grande turbidez quando submetido à carga de 2", devido a isso o ensaio prosseguiu até completar 10 minutos. Como o furo de

agulha foi maior que duas vezes o furo original, o solo foi classificado como D1, altamente dispersivo. Destaca-se que neste solo as amostras não apresentaram estruturas reliquias, indicando que o efeito se deve ao próprio solo.

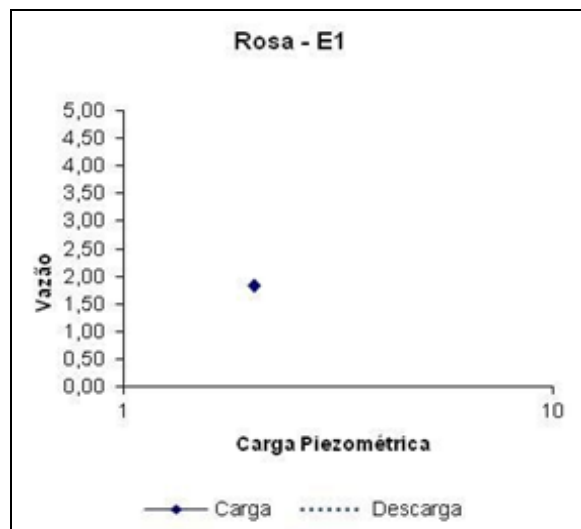


Figura 14 - Curva de descarga E1 - Solo Rosa (AUTORES, 2015)

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados obtidos nos ensaios já analisados, além de indicar os resultados obtidos quando realizados os limites de Atterberg.

Tabela 1 - Tabela resumo dos resultados obtidos (AUTORES, 2016)

	SOLO	ROSA AMARELO	
CD	PEDREGULHO (%)	0	0
	AREIA (%)	10	25
	SILTE (%)	73	65
	ARGILA (%)	17	10
SD	PEDREGULHO (%)	0	0
	AREIA (%)	16	20
	SILTE (%)	76	80
	ARGILA (%)	8	0
LIMITES	LL (%)	44,50	36,20
	LP (%)	31,40	NP
	IP (%)	13,10	NP
	Pi (g)	304,48	283,00
MCT	d'	29,27	27,54
	e'	1,55	1,53
	CLASSE	NS'	NA'
PINHOLE	CLASSE	D1	ND2

O solo Rosa obteve LL de 44,50%, LP de 31,40% e, portanto, IP de 13,10%. Já o solo Amarelo obteve LL de 36,20% e LP e IP classificados como não plástico (NP).

O solo Amarelo foi considerado NP, haja vista que ao tentar realizar o experimento não era possível moldar os gabaritos pois o solo se despedaçava todo.

Com os valores encontrados para os limites de consistência e considerando as indicações de Bastos (1999), o solo Amarelo é considerado potencialmente erodível, diferentemente do solo Rosa.

5 CONCLUSÕES

A correlação com a granulometria dispersa não serviu para diferenciar o comportamento dos dois solos.

A correlação com os valores de limites de consistência não serviram para diferenciar de forma coerente o comportamento dos solos, tratando o solo Rosa como não erodível e o solo Amarelo como potencialmente erodível.

A classificação MCT indicou diferenças entre os dois solos, mas vale ressaltar que o ensaio utiliza amostras compactadas, refletido portanto a erodibilidade das partículas sem a estruturação natural.

O pinhole indicou que o solo Rosa é mais erodível que o solo Amarelo e ainda que o potencial erodível deste decorre das estruturas reliquias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCT-REAGEO pelos recursos disponibilizados e aos demais integrantes do Geogrupo pelo auxílio nos ensaios na UFJF.

REFERÊNCIAS

- Araújo, R.C. (2000) *Estudo da Erodibilidade de um solo da Formação Barreiras*, Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, PUC - Rio, 147 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a). *NBR*

- 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, RJ, BR. 8 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b). *NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 6 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). *NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988a). *NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 3 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988b): *NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 13 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). *NBR 6502 - Rochas e solos*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 18 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998). *NBR 14114 - Solo - Solos argilosos dispersivos - Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test)*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 8 p.
- Bastos, C.A.B. (1999). *Estudo Geotécnico Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados*. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 256 p.
- Brito, A. de O. (2012). *Estudos da Erosão no Ambiente Urbano, Visando Planejamento e Controle Ambiental no Distrito Federal*. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Ciências Florestais, Universidade de Brasília. 78 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Sales, M.M; Mortari, D.; Fázio, J.A.; Motta, N.O.; Francisco, R.A. (2006). Processos erosivos. Brasília, DF: FINATEC. In: Camapum de Carvalho, J.; Sales, M.M; Souza, N.M.; Melo, M.T.S. *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*, p. 40-91.
- Cherobin, S.F. (2012). *Estimativa de Erosão e sua Relação com os Diferentes Mecanismos Erosivos Atuantes: Estudo da Voçoroca Vila Alegrel*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto. 115 p.
- Corrêa, L. da S.L. (2006). *Processos Erosivos Avançados em São Francisco de Assis – RS: Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências e Geografia, Universidade Federal de Santa Maria. 79 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994a) *Solos – Compactação em equipamento miniatura, ME228*. 14 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994b) *Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda por imersão. ME256*. 6 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994c) *Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV. ME258*. 14 p.
- Faria, A.L.L. de et al (2003). Análise Ambiental por Geoprocessamento em Áreas com Susceptibilidade à Erosão do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), *Caminhos de Geografia*, Revista Online, Vol 4, p 50-65.
- Guerra, A.T. e Guerra, A.J.T. (2008) *Novo Dicionário Geológico – Geomorfológico*, 6a ed, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, BR, 652p.
- Guimarães, D.V. (2015). *Erosão Hídrica em Sistemas Florestais no Extremo Sul da Bahia*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. 92 p.
- Moraes Silva, T.R. (2000). *Caracterização e Erodibilidade dos Solos de Uma Voçoroca na Região de Ouro Preto, Minas Gerais*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 107 p.
- Pichler, E. (2011). Boçorocas, *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, ASCE, Vol. 109, p. 883-898.
- Rocha, G.C. et al (2003). Mapeamento de Riscos Ambientais à Escorregamentos na Área Urbana de Juiz de Fora, MG, *Geografia*, Vol. 12, p. 509-516.
- Stephan, A.M. (2010). *Análise de Processos Erosivos Superficiais Por Meio de Ensaios de Inderbitzen*, Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. 165 p.
- Villibor, D.F. e Nogami, J.S (2009) *Pavimentos Econômicos – Tecnologia do Uso dos Solos Finos Lateríticos*, Editora Arte & Ciência, São Paulo, SP, BR, 291 p.
- Zuquette L.V.; Pejon, O.J.; Lima, R.E.; Dantas-Ferreira, M.; Guimarães, V. (2013). A Preliminary Assessment of The Distribution and Consequences of Natural and Some Anthropogenic Hazards in Brazil, *Soils and Rocks*, ABMS/SPG, Vol. 36, p. 67-95.