

ESTUDO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS RESIDUAIS DE GNAISSE-MIGMATITO DO NORTE DE SC

Marcelo Heidemann¹; Arethusa Naara Goedert²; Cassio Hister Bellan³; Thayara Monteiro Orandes da Graça⁴

Resumo – Este trabalho avalia o potencial erosivo de solos residuais de gnaiss-migmatito da área urbana da cidade de Joinville, no norte de Santa Catarina. Foram estudados quatro pontos distintos, que apresentam feições erosivas de diferentes níveis. Além de ensaios de caracterização geotécnica básica foram efetuados ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão modificado para medir o potencial erosivo destes solos. Estes ensaios compõem a metodologia MCT. Foram ensaiados corpos de prova indeformados, e com diferentes graus de saturação. Os resultados mostraram que há correlação entre volume infiltrado em solos com baixo grau de saturação e o índice de vazios, bem como entre a perda de massa e o grau de saturação. Considerando os critérios de Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992) todos os quatro solos são caracterizados como erosivos. Com base em observações realizadas nas áreas de estudo e nos ensaios executados um diferente critério de erodibilidade foi proposto, e corresponde a uma razão $\pi/s=100$.

Abstract – This paper aims to evaluate the erodibility of gneiss-migmatite residual soils that occur in the urban area of Joinville, in north of Santa Catarina state. It was established four study areas that present erosional features in distinct levels. Besides the tests for basic geotechnical characterization, it was carried out infiltrability and modified loss of mass tests to measure the erodibility of such soils. These tests are among those that compose the MCT methodology. These tests were carried out in undisturbed specimens with different initial saturation levels. It was verified that there is correlation between the void ratio and infiltrated volumes in the specimens with low saturation degrees. Also, there is correlation between loss of mass and saturation degree. With basis in the criteria of Nogami & Villibr (1979) and Pejon (1992) all the four soils are classified as erodible. Considering the observations about erosive features in the studied areas and the tests results, a different and more permissive criterion was proposed and correspond to a ratio $\pi/s=100$.

Palavras-Chave – Erodibilidade, potencial erosivo, solos residuais

¹ Eng., D.Sc. Universidade Federal de Santa Catarina: Joinville – SC, (47) 3721-7327, marcelo.heidemann@ufsc.br

² Acadêmico. Universidade Federal de Santa Catarina: Joinville – SC, (47) 3721-7327, arethusag@gmail.com

³ Acadêmico. Universidade Federal de Santa Catarina: Joinville – SC, (47) 3721-7327, cassiohbellan@gmail.com

⁴ Acadêmico. Universidade Federal de Santa Catarina: Joinville – SC, (47) 3721-7327, thayaramonteiroog@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados, e transportados de um ponto a outro (Bastos, 1999), para aí serem depositados. Trata-se de um fenômeno natural de grande relevância para a dinâmica superficial do planeta e que pode ter como agente a água, o vento, a ação de geleiras, entre outros.

Quando a erosão é causada pela água é dita erosão hídrica, e pode ser promovida pela chuva, por ação de rios, marés, dinâmica de lagos, etc. Quando a ação antrópica é caracterizada como deflagradora ou intensificadora dos processos de erosão hídrica é adotado o termo erosão hídrica acelerada (BASTOS, 1999). Isto se deve basicamente por conta da mudança da topografia que promove aumento na energia e da concentração do fluxo de água, bem como pela exposição de solos a ação da água.

Mensurar a erosão dos solos tem sido um dos principais alvos da pesquisa científica e dos programas governamentais desde o início do século XX (GARCIA-RUIZ et al., 2015), e tendo em vista seus impactos ambientais, econômicos e sociais continua sendo um tema relevante.

Em áreas urbanas a erosão hídrica causa problemas à infraestrutura, como o assoreamento de corpos hídricos, reservatórios e redes de esgoto pluvial, a modificação da configuração de terrenos de taludes e consequente ruptura dos mesmos, a formação de voçorocas, e a degradação dos pilares de pontes e piers (BRIAUD & HO 2010; VERSTRAETEN & POESEN, 2000; OLIVEIRA et al., 1987; VILAR, 1987).

Um dos objetivos deste esforço baseia-se na previsão de perda de solo por processos erosivos, a partir de modelos matemáticos paramétricos. Os modelos paramétricos são formulações empíricas que visam interpretar os mecanismos erosivos por suas causas e efeitos (ALMOROX et al., 1994). Nesse sentido, são exemplos de modelos USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978), WEPP (FLANAGAN & NEARING, 1995), além dos modelos CREAMS, EUROSEM e GUEST, reportados em Wang et al. (2013). Estes modelos, de forma geral, baseiam-se na cobertura e uso do solo, topografia, erosividade da chuva e erodibilidade do solo.

A erodibilidade do solo, conforme Wang et al. (2013), consiste na suscetibilidade do solo em ser erodido. Nogami e Villibor (1995) descrevem a erodibilidade (específica) como a resistência intrínseca do solo ao destacamento das partículas sob ação dinâmica do fluxo superficial e das gotas de chuva. A erodibilidade é tratada também como uma característica do solo por Kimiaghallam et al. (2016), Hanson & Cook (2004), Briaud (2005), Hanson & Simon (2001), Meng et al. (2012), Duiket et al. (2001), Al-Hamdan et al. (2017), Laflen et al. (1991), Duiker et al. (2001), entre outros.

Dentre as propriedades do solo que impactam na erodibilidade a literatura tem reportado a influência da resistência ao cisalhamento, da granulometria, limites de consistência, permeabilidade, mineralogia e estrutura (BASTOS, 1999; WISCHMEIER & SMITH, 1978; KIMIAGHALAM et al., 2016; 2017; DUIKER et al., 2001; WATSON & LAFLEN, 1986, LAL, 1990).

A correlação entre a suscetibilidade à erosão e tais propriedades se mostra bem explorada quando a metodologia MCT (NOGAMI & VILLIBOR, 1979) é empregada. Esta proposição baseia-se na determinação do potencial erosivo de solos por meio dos ensaios de infiltrabilidade, que fornece o coeficiente de sorção, e de perda de massa por imersão modificado. Embora sua aplicação esteja praticamente restrita ao Brasil, diversos trabalhos têm mostrado resultados interessantes para esta proposição, vide Bastos (1999), Higashi, (2006), Molinero Junior (2010), Grando (2011), Heidemann, (2014), Couto (2015).

Diferente de outras metodologias, o critério de erodibilidade de MCT foi desenvolvido tendo como referência o comportamento de solos tropicais saprolíticos e lateríticos. A estruturação tem forte controle sobre o comportamento de tais materiais, inclusive sobre a erodibilidade, porque pode fornecer uma parcela adicional de resistência ao cisalhamento que é creditada à coesão. Além disso, nos solos lateríticos as concreções argilosas conduzem a inconsistências nas relações entre granulometria e erodibilidade. Ainda, conforme Bastos (1999), a fração silte de

solos saprolíticos caulíníticos-micáceos, ao contrário de siltes quartzosos de clima temperado, determina alta erodibilidade de solos tropicais. Esses fatores devem ser somados ainda ao fato de que, por conta do processo de formação de solos residuais de clima tropical e subtropical, tais materiais apresentam tipicamente anisotropia e variação vertical das propriedades.

Nesse sentido, para tais materiais a determinação do potencial erosivo necessita ser executada experimentalmente, seja em laboratório em corpos de prova indeformados, ou em campanhas in situ. Além disso parece importante lidar com áreas relativamente pequenas, de forma a minimizar as variabilidades observadas e considerar as diferentes características que parecem interferir na erodibilidade. E assim, a metodologia MCT mostra-se potencialmente aplicável, seja pela sua simplicidade, seja pelos resultados satisfatórios obtidos nos trabalhos previamente reportados.

Assim, este trabalho apresenta um estudo acerca da determinação do potencial erosivos de solos de gnaiss da área urbana do município de Joinville, no norte de Santa Catarina, utilizando esta metodologia. Busca-se avaliar: (i) a suscetibilidade destes materiais à erosão e o efeito da secagem e do grau de saturação inicial do material; (ii) a existência de variabilidade, apesar de tratar-se de solos com mesma rocha de origem, e; (iii) a validade dos critérios de erodibilidade pi/s de Nogami & Villibor (1979, 1995) e Pejon (1992) para as condições desta região.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O município de Joinville fica localizado no norte do estado de Santa Catarina. Sua mancha urbana estende-se predominantemente sobre áreas planas, que correspondem a depósitos sedimentares recentes. Um dispositivo legal municipal impede a ocupação de áreas acima da cota 40 m. Assim, a ocupação urbana avança sobre algumas áreas de pequena elevação, e as maiores são cobertas por vegetação, como ilustra a Figura 1.

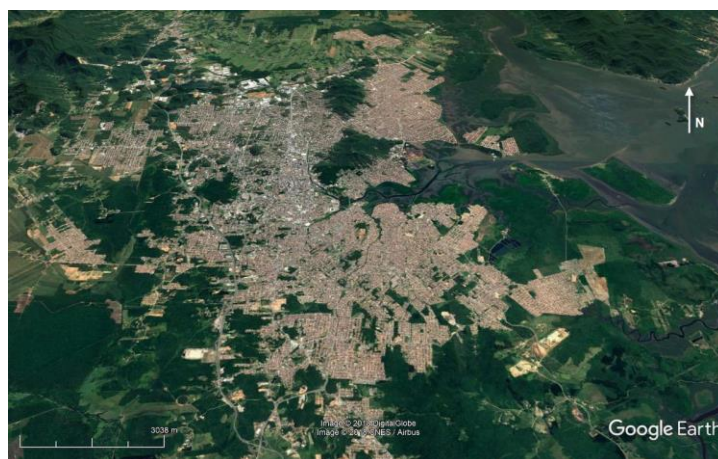


Figura 1. Imagem de satélite da área urbana do município (Google Earth, 2018).

A posição geográfica do município contribui para que seja transpassado por diversos cursos d'água que se constituem drenagens desde as montanhas correspondentes à Serra do Mar à oeste do município até a Baía da Babitonga à leste. Também esta posição geográfica favorece altos níveis de precipitação anual (em torno de 2200 mm/ano).

As áreas de elevações correspondem a embasamentos metamórficos, tipicamente gnaisses e migmatitos e parte delas são transpassadas por veios de quartzito com orientação N-S. A Figura 2 mostra o arcabouço geológico da cidade (base cartográfica de Geodiversidade Estadual do CPRM, em coordenadas UTM, no datum *Sirgas* 2000). Os processos de alteração, sobretudo intemperismo, resultaram no desenvolvimento de espessos perfis de solo residual, os quais pelo processo de urbanização são cortados e usados como aterros em obras de terraplenagem.

Assim, a associação de exposição de solos residuais e significativos dados pluviométricos criam um ambiente em que os processos de erosão hídrica parecem ser potencializados.

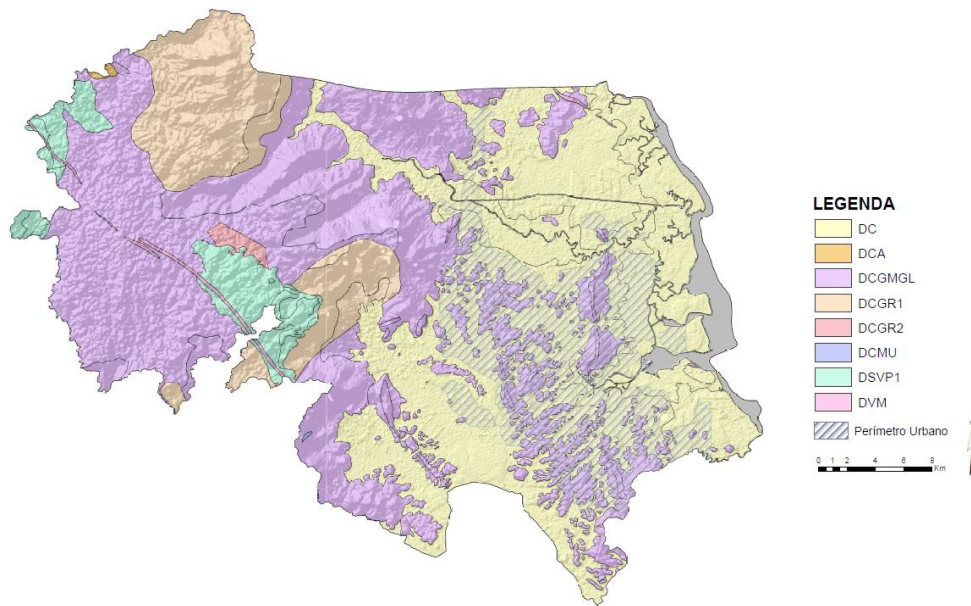


Figura 2. Arcabouço geológico regional. (DC e DCA - planícies sedimentares cenozoicas inconsolidadas formadas em meio aquoso; DCGMGL - migmatitos/gnaisses/granulitos; DCGR1, DCGR2 – granitoides; DCMU - corpos máficos e ultramáficos; DSVP1 - Sequências Vulcano-sedimentares; DVM - Vulcanismo fissural mesozoico).

Este estudo foi desenvolvido tendo como referência quatro pontos de estudo, todos localizados na porção centro-norte da área urbana do município de Joinville, em SC. Estes pontos de estudo consistem em cortes realizados em elevações, em que há exposição dos solos residuais de gnaiss-migmatitos dominantes na região. Além disso, esta seleção de pontos buscou contemplar materiais em que fossem visíveis claros indícios de erosão, e outros que se mostrem resistentes à erosão, de forma a tentar validar critérios de erodibilidade para este ambiente. A Figura 3 mostra a localização dos pontos de estudo na mancha urbana do município.



Figura 3. Localização dos pontos de estudo.

As inspeções de campo mostraram que o ponto 1 apresenta diversas feições erosivas, como sulcos que dominam quase toda a área, bem como ravinas. A área apresenta taludes relativamente preservados, exceto pontualmente onde a erosão avança sobre os platôs. Bandeamentos podem ser identificados, em geral subverticais, mas não parece haver controle desses sobre as feições erosivas.

No ponto 2 os processos erosivos são praticamente ausentes, e a vegetação tende a cobrir o terreno. Os taludes têm inclinação maior que 50° e ainda assim encontram-se bem preservados. Bandeamentos são identificados e ao serem exumados mostram orientação dada tipicamente por um strike/dip de $345^\circ/70^\circ$ (NE).

No ponto 3 os processos erosivos são muito intensos, com a ocorrência de voçorocas com mais de 3 m de profundidade e em expansão devido à surgência de água. Os taludes são muito íngremes e tem sofrido sucessivos movimentos de massa em decorrência da concentração de água em alguns pontos, muito em função do controle imposto pelas feições erosivas à trajetória de drenagem das águas de chuva. Alguns bandeamentos herdados do gnaiss concentram partículas argilosas que são mais resistentes à erosão, e por isso verifica-se certo controle estrutural sobre o processo erosivo. Estas feições argilosas têm orientação bastante diversa, mas normalmente são subverticais.

No ponto 4 não há cobertura vegetal e ainda assim os processos erosivos são ausentes, indicando materiais muito resistentes aos processos de desprendimento de partículas de solo. Por conta do avançado estágio de alteração, feições estruturais também não são mais claramente identificadas.

3. METODOLOGIA

Os solos estudados foram coletados de forma indeformada e deformada. As amostras indeformadas foram coletadas conforme procedimentos recomendados na ABNT NBR 9604/2016 no horizonte B/C e C destes perfis. A caracterização física contemplou ensaios de densidade real dos grãos (ABNT NBR 6508/1984), granulometria (ABNT NBR 7181/2016) e limites de liquidez (ABNT NBR 6459/2016) e plasticidade (ABNT NBR 7180/2016).

A caracterização do potencial erosivo foi feita a partir de dois ensaios: infiltrabilidade e perda de massa por imersão modificado. Os ensaios foram executados em corpos de prova indeformados sob umidade natural após secos ao ar por períodos de 24, 48 e 96 h. Estes ensaios fazem parte do conjunto de procedimentos experimentais da metodologia MCT, proposta por Nogami & Villibor (1979).



Figura 4. Execução do ensaio de infiltrabilidade (BASTOS, 1999).

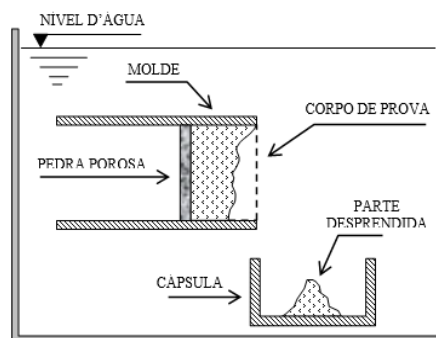


Figura 5. Esquemas da execução dos ensaios de PMI modificado (HIGASHI, 2006).

O ensaio de infiltrabilidade busca medir a taxa de infiltração de água por capilaridade, e sua variação, ao longo do tempo. Este ensaio é executado submetendo um corpo de prova de solo a infiltração de água contida em tubo de pequeno diâmetro que forma um menisco capilar. Durante

o ensaio mede-se o deslocamento desse menisco ao longo do tempo. Estes dados permitem construir uma curva que mostra o volume infiltrado *versus* a raiz do tempo, e a inclinação do trecho inicial desta reta corresponde ao coeficiente de sorção (s). O equipamento utilizado, similar ao mostrado na Figura 4, condiciona o menisco a um diâmetro de 5 mm. Os corpos de prova apresentam 50 mm de altura e 48 mm de diâmetro.

O ensaio de perda de massa por imersão modificado baseia-se no ensaio de perda de massa por imersão proposto pela norma DNER ME 256/1994. Consiste em submeter um corpo de prova prismático contido lateralmente por um anel metálico/polimérico, e por uma pedra porosa em uma de suas faces, à imersão por um período de 20h (Figura 5). Após esse período determina-se o percentual da massa de partículas sólidas desagregada pela imersão com relação à massa inicial de partículas sólidas. Este percentual corresponde ao parâmetro pi . A modificação do ensaio deve-se ao uso de corpos de prova que tem suas faces coincidentes com os limites do anel de coleta, diferente do ensaio original em que parte do solo sofre parcial extrusão. O uso do ensaio modificado é reportado por Bastos (1999), Higashi, (2006), Grandó (2011) e Heidemann (2014). Para estes ensaios também foram usados corpos de prova que apresentam 50 mm de altura e 48 mm de diâmetro.

O potencial erosivo é dado pela razão pi/s . Segundo Nogami e Villibor (1979) solos que apresentam $pi/s > 52$ devem ser considerados com alto potencial erosivo, enquanto que Pejón (1992) propôs como limite para critério de erodibilidade $pi/s > 40$.

4. RESULTADOS

Os solos estudados apresentam as características geotécnicas básicas mostradas na Tabela 1, bem como a classificação conforme metodologia SUCS, e na Figura 6 são mostradas as curvas granulométricas para os materiais analisados.

Tabela 1. Índices físicos e parâmetros de resistência dos solos investigados.

Material	Ponto 1 (EM)	Ponto 2 (MO)	Ponto 3 (CO)	Ponto 4 (XV)
G	2,720	2,715	2,667	2,708
γ (kN/m ³)	1,46	1,72	1,59	1,79
e	1,43	1,11	1,01	0,94
w (%)	30,5	29,0	20,0	28,4
Sr (%)	58	78,0	54,0	81,0
LL	49	42	44	38
IP	12	6	14	2
SUCS	ML	ML	ML	ML

A quantidade de finos (partículas <0,075 mm) pouco varia, sendo maior a dispersão em termos de distribuição de partículas arenosas. Assim todos os solos estudados são classificados como siltes de baixa compressibilidade, conforme sistema SUCS. Apesar de os teores de fino serem parecidos entre os solos estudados, há razoável variação em termos de limites de consistência. Não há proporcionalidade entre o índice de plasticidade e a fração fina dos mesmos. Tal fato pode ser associado a influência da fração de areia fina, mas principalmente à natureza dos minerais primários e argilominerais presentes nestes materiais.

O índice de vazios medido nestes solos varia de 0,94 a 1,43, o que se configura um largo intervalo, e mostra a complexidade envolvida nos processos de formação de solos residuais. Apesar de tratar-se de uma região estudada bem restrita, de mesma origem geológica, os processos de formação dão origem a solos com propriedades físicas distintas.

Na Figura 7 são apresentados os resultados dos ensaios de infiltrabilidade, mostrando a evolução da quantidade de água infiltrada e do grau de saturação ao longo do tempo para os materiais estudados.

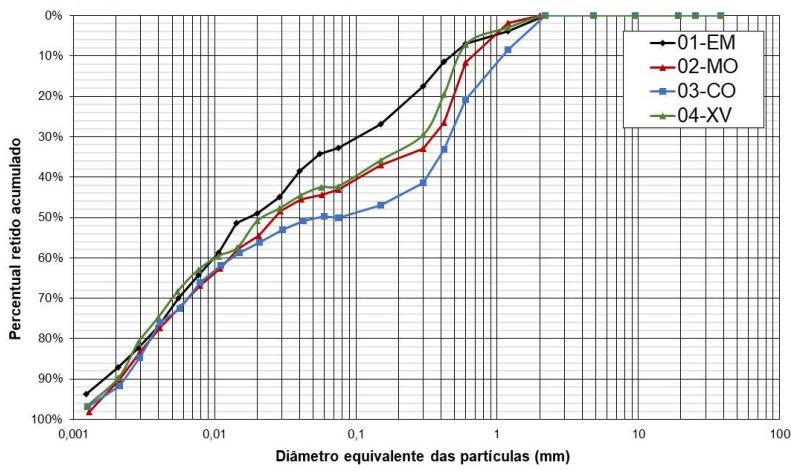


Figura 6. Curvas granulométricas.

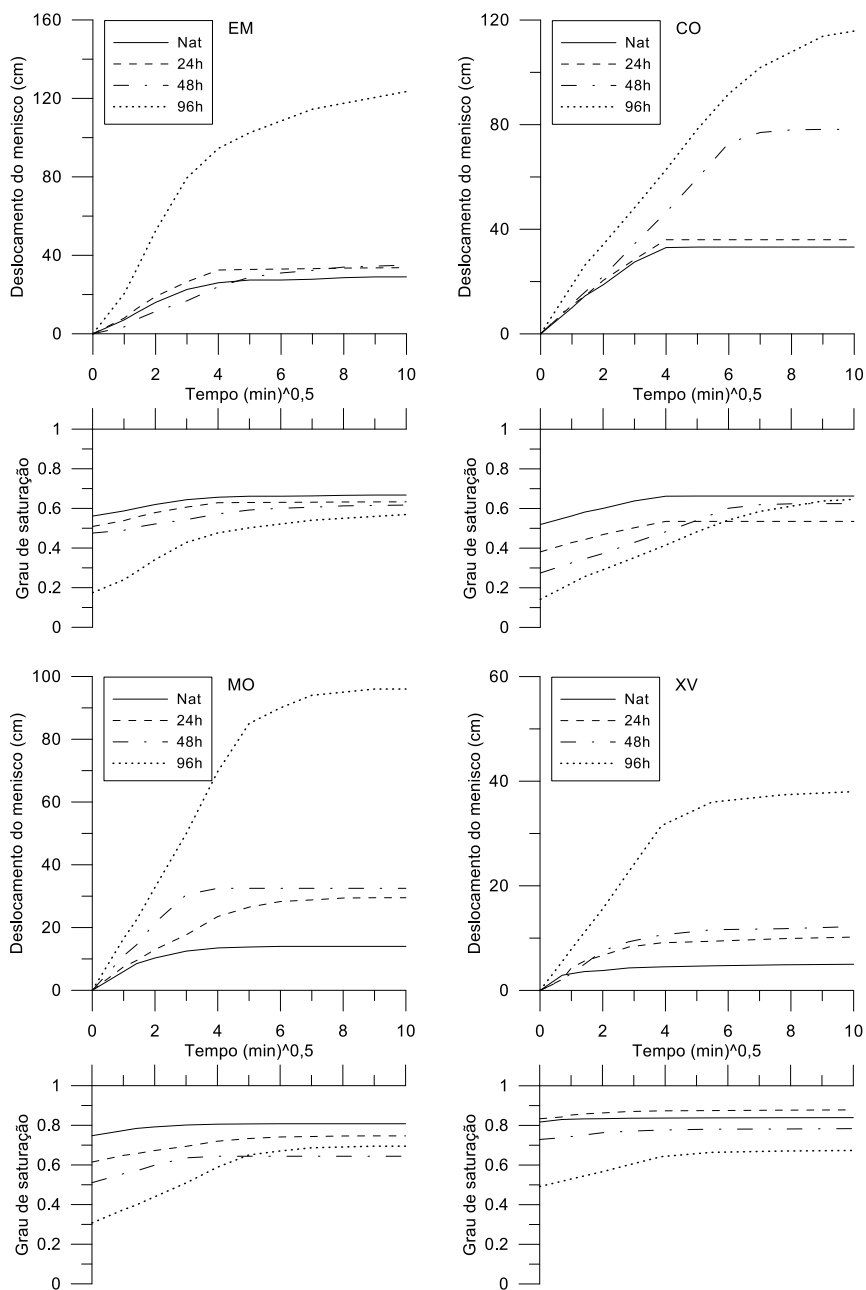


Figura 7. Resultados dos ensaios de Infiltrabilidade.

Os resultados indicam que o processo de secagem do solo, e como consequência o grau de saturação, é decisivo quanto ao volume de água absorvido e à taxa de infiltração de água. Em todos os materiais se percebe que há uma diferença expressiva entre o solo ensaiado após 96h de secagem e os demais.

O solo XV é o menos suscetível a variações de umidade tanto na secagem quanto na infiltração, e isso está ligado à maior densidade, menor quantidade de vazios, e assim menor espaço disponível a ser ocupado pela água e para sua mobilidade. Desta forma explica-se também o expressivo volume de água absorvido pelo solo EM, e pode-se considerar correlacionar a infiltrabilidade em solos com baixo grau de saturação (nesse caso os secos ao ar por 96h) ao índice de vazios.

Os solos EM e CO tem estabilização da infiltração quando o grau de saturação atinge entre 50% e 60%, ao passo que para os solos MO e XV tem-se estabilização próximo à 80% de saturação. Isto é importante porque mostra que a infiltração nos solos EM e CO tende a cessar antes de se atingir graus de saturação que possam conduzir a uma queda muito grande da sucção, que pode ser importante para a resistência ao cisalhamento, e consequentemente aos processos erosivos e instabilidade de encostas.

Na Figura 8 são mostrados os valores de perda de massa (π) versus coeficiente de sorção (s), bem como a tendência de variação dos dados com a secagem (setas pontilhadas) e os critérios de erodibilidade de Nogami e Villibor (1979) ($\pi/s > 52$) e Pejon (1992) ($\pi/s > 40$). Adicionalmente, sugere-se um critério mais permissivo, em função do indicado pelos critérios anteriormente citados e da manifestação dos processos erosivos nas áreas estudadas. Os pontos experimentais plotados abaixo das envoltórias são caracterizados como erosivos.

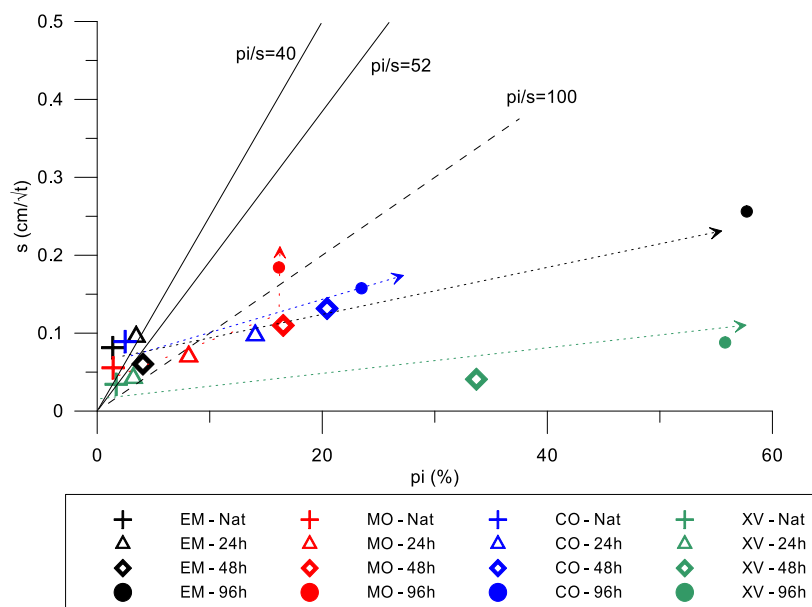


Figura 8. Resultados de perda de massa por imersão versus infiltrabilidade.

É possível confirmar a forte correlação entre o alto grau de saturação (solo natural) e o baixo potencial erosivo, bem como pouca variação dentre os solos estudados para os ensaios sem secagem. A secagem promove aumento da suscetibilidade à erosão, uma vez que os pontos experimentais se afastam das envoltórias.

Considerando os critérios de Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992) todos os solos são caracterizados como erosivos, exceto se sob umidade natural, mas ainda assim, encontram-se muito próximos das envoltórias. No entanto, em parte das áreas de estudo não ocorrem processos erosivos expressivos, e por isso considerou-se que aqueles critérios se mostram deveras conservadores para as condições observadas na área de estudo. Assim, um critério $\pi/s=100$ foi sugerido, e considerando-o são isolados a maior parte dos pontos relativos a área

MO, que não mostra indícios de erosão, e parte dos pontos do solo da área XV, onde as feições erosivas são ausentes.

5. CONCLUSÕES

Os solos estudados, apesar de originários de mesma litologia, apresentam índices físicos diferentes entre si, incluindo os limites de plasticidade, mas sempre com plasticidade baixa à média. Em termos granulométricos as maiores diferenças referem-se à quantidade de areias finas e siltes, mas o total de finos (<0,075mm) pouco varia. Assim, todos os materiais são classificados (SUCS) como siltes argilosos de baixa compressibilidade (ML).

O processo de infiltração torna-se mais intenso na medida em que o grau de saturação no início do ensaio, é mais baixo. Há correlação entre a infiltrabilidade em solos com baixo grau de saturação (nesse caso os secos ao ar por 96h) e o índice de vazios. Apesar de absorver um volume maior de água, os solos secos por mais tempo ao ar são mais suscetíveis à erosão, considerando a metodologia MCT, já que sofrem também grande perda de massa.

Considerando os critérios de Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992) todos os solos são caracterizados como erosivos, mas em parte das áreas de estudo não ocorrem processos erosivos expressivos, sendo tais critérios conservadores para as condições observadas na área de estudo. Um critério $\pi/s=100$ foi sugerido, e considerando-o são isolados a maior parte dos pontos relativos a área MO, que não mostra indícios de erosão, e parte dos pontos do solo da área XV, onde as feições erosivas são ausentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2016) "Determinação do limite de liquidez: NBR 6459". Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) "Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica: NBR 6508". Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) "Determinação do limite de plasticidade: NBR 7180". Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) "Análise granulométrica: NBR 7181". Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) "Abertura de poços e trincheiras de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: NBR 9604". Rio de Janeiro.
- AL-HAMDAN, O.Z. et al. (2017) "Developing a parametrization approach for soil erodibility for the rangeland hydrology and erosion model (RHEM)" in Transactions of the ASABE, v. 60(1).
- ALMOROX, J. et al. (1994) "Metodos de Estimación de la Erosion Hídrica" in Editorial Agrícola Española. Madrid.
- BASTOS, C.A.B. (1999) "Estudo Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados". Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS: Porto Alegre
- BRIAUD, J.L.; OH, S.J. (2010) "Bridge foundation scour" in Geotechnical Eng. Journal. n. 41.
- BRIAUD J.L. (2005) "Erodibility of fine grained soils and new soil test" in Proceedings of the erosion of soil and scour of foundations, ASCE, GSP.
- COUTO, B.O.C. (2015) "Análise da erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos". Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em geotecnia, UFOP, Ouro Preto.
- DNER (1994) "Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão": DNER-ME 256/94.
- DUIKER, S.W.; FLANAGAN, D.C.; LAL, R. (2001). "Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain" in Catena, n.45.FLANAGAN & NEARING, 1995

- GARCÍA-RUIZ, J.M. et al. (2015) "A meta-analysis of soil erosion rates across the world" in *Geomorphology* n. 239
- GRANDO, A. (2011) "*Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental*". Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC: Florianópolis.
- HANSON, G.J.; COOK, K.R. (2004) "*Apparatus, test procedures and analytical methods to measure erodibility in situ*" in *Applied Engineering in Agriculture*, n.20 v.4.
- HANSON, G.J.; SIMON, A. (2001). "*Erodibility of cohesive stream bed in the loess area of the midwestern USA*" in *Hydrological Processes*, n.15.
- HEIDEMANN, M (2014) "*Mapa Geotécnico de Potencial Erosivo de uma Área de Expansão Urbana de Tubarão - SC*" in *Revista de Engenharia Civil IMED*, n.1, v.1.
- HIGASHI, R.A.R. (2006) "*Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental*". Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC: Florianópolis.
- KIMIAGHALAM, N; CLARK, S.P.; AHMARI, H. (2016) "*An experimental study on the effects of physical, mechanical and electrochemical properties of natural cohesive soils on critical shear stress and erosion rate*" in *International Journal of Sediment Research*, n.31.
- LAFLEN, J.M.; ELLIOT, W.J.; SIMANTON, J.R.; HOLZHEY, C. S.; KOHL, K.D. (1991). "*WEPP: Soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils*" in *J. Soil Water Cons.* n. 46, v.1.
- LAL, R. (1990) "*Soil Erosion and Land Degradation: The Global Risks*" in *Advances in Soil Science* (Lal R., Stewart B.A. eds) n.11. Springer, New York.
- MENG, X.M.; et al. (2012). "*An experimental study on erodibility of intertidal sediments in the Yellow River delta*" in *International Journal of Sediment Research*, n. 27 pp. 240–249.
- MOLINERO JUNIOR, J.A. (2010) "*Estudo geotécnico dos solos de erosões resultantes de intervenções em rodovias*". Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1979) "*Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area*". *Bulletin of International Association of Engineering Geology*. n. 19
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995) "*Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*". São Paulo, Editora Villibor.
- OLIVEIRA, A.M.S.; PONÇANO, W.L.; SALOMÃO, F.X.T.; DONZELI, P.L.; ROCHA, G.A.; VALÉRIO FILHO, M. (1987) "*Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP*" in *Anais do 4º Simpósio de Controle de Erosão*. Marília-SP.
- PEJON, O. J. (1992) "*Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba–SP (Escala 1: 100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos*" Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos – SP.
- VERSTRAETEN, G., POESEN, J. (2000) "*Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield*" in *Progress in Physical Geography*, n. 24.
- VILAR. O.M. (1987) "*Formulação de um Modelo Matemático para Erosão dos Solos pela Chuva*" Tese de Doutorado. EESC/USP. São Carlos – SP.
- WANG, B.; SHENG, F.; RÖMKENS, M.J.M.; DARBOUX, F. (2013) "*Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences*" in *Geomorphology* n. 187.
- WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. (1986) "*Soil strength, slope and rainfall intensity effects on the interrill erosion*" in *Transactions of ASAE*, v.29 n.1.
- WISCHMEIER, W.H.; D.D. SMITH (1978) "*Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*". U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Handbook* n. 537.