

Estudo do Ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone para a Caracterização da Suscetibilidade do Solo à Erosão no Campo de Instrução de Santa Maria - RS

Leila Posser Fernandes

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, leilapfernandes@hotmail.com

Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, rinaldo@ufsm.br

Andréa Valli Nummer

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, a.nummer@gmail.com

Letícia Soldera

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, letisoldera@yahoo.com.br

RESUMO: A pesquisa que resultou neste artigo foi desenvolvida em uma estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria, RS. O objetivo principal é caracterizar a suscetibilidade do solo do Campo de Instrução de Santa Maria quanto à erosão, através do estudo do ensaio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP). A metodologia aplicada consistiu em duas etapas: a etapa de gabinete e a etapa de campo. A etapa de gabinete se configurou como a base da pesquisa, onde foi realizado o levantamento bibliográfico em relação ao tema estudado. Na etapa de campo, foi realizado o ensaio com o penetrômetro dinâmico de cone. Esse ensaio foi executado no perfil e ao meio de uma estrada de terra, localizada na área do CISM. O resultado obtido no ensaio do penetrômetro dinâmico de cone para o meio da estrada, com e sem presença de crosta, evidenciou a primeira cada do solo como mais resistente, no entanto, para o perfil do solo esta camada apresentou índice menor de resistência. Assim os resultados encontrados neste estudo e no estudo de Pittelkow (2013) mostram maior resistência à penetração para a camada de crosta, evidenciando que o perfil e as camadas situadas abaixo da crosta apresentam maior suscetibilidade para os processos erosivos.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência, Índice de Penetração, Erosão.

1 INTRODUÇÃO

A erosão é considerada um dos problemas ambientais mais alarmantes enfrentados na atualidade em virtude da ocorrência de grande perda de solo agricultável, assoreamento dos recursos hídricos, deslizamentos de terra e perda de nutrientes do solo. De uma maneira geral define-se erosão como sendo um processo natural de desagregação de partículas de solo ou rocha, seguido do seu transporte e deposição, causada por agentes erosivos, tais como, a água, o vento e o gelo.

Para Bastos (1999), do ponto de vista da Geologia de Engenharia e da Geotecnia, a identificação, avaliação e compreensão dos parâmetros e mecanismos que determinam os processos erosivos, são fundamentais para elaboração de projetos de contenção e controle da erosão.

Em Santa Maria esta situado um dos maiores contingentes militares do país, o Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). O CISM é uma área do Exército Brasileiro destinada à instrução militar com o uso de blindados e viaturas sobre rodas. Por estar localizado numa

área de fragilidade ambiental e por não possuir programas de preservação e conservação do solo, essa área apresenta inúmeros impactos, como a destruição da cobertura vegetal, compactação do solo, formação de campos de areias, sulco e ravinas, tendo como uma das consequências o assoreamento dos cursos d'água.

Neste contexto, o objetivo geral do presente estudo é caracterizar a suscetibilidade do solo de uma estrada de terra do Campo de Instrução de Santa Maria quanto à erosão através do penetrômetro dinâmico de cone.

O Penetrômetro Dinâmico de Cone (Dynamic Cone Penetration - DCP) é um instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica no solo em seu estado natural, é considerado de fácil execução e com o auxílio de apenas duas pessoas.

Segundo Costa *et al.*, (2010) ensaios de penetração dinâmica para a determinação da resistência do solo constitui uma prática bastante antiga na Engenharia Geotécnica. Ainda segundo os autores, vários tipos de penetrômetros são utilizados na exploração dos subsolos, de modo a atender a diferentes propósitos e necessidades.

No Brasil, este aparelho ainda é pouco utilizado e esta sendo estudado por instituições como o DER-PR (Heyn, 1986), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), por Oliveira e Vertamati (1997), no estado da Paraíba por Rodrigues e Lucena (1991) e Santana *et al.*, (1998) e, em Santa Catarina por Cardoso e Trichês (2000) na BR- 101/SC.

O DCP pelas suas características peculiares, permite que ensaios penetrométricos sejam realizados em locais de difícil acesso e ainda possibilita a obtenção de diversos pontos ensaiados. O ensaio do Penetrômetro é capaz de medir a capacidade de suporte do solo “in situ” com um baixo custo e fácil operação (PONCE *et al.*, 1991).

O equipamento frequentemente utilizado e que condiz ao descrito na norma ASTM D-6951 – *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*, possui massa equivalente do martelo igual a 8 kg, altura de queda do martelo igual a 575 mm, hastes com diâmetro de 16 mm

e ponta cônica de 60° e 20 mm de diâmetro, conforme Figura 1.

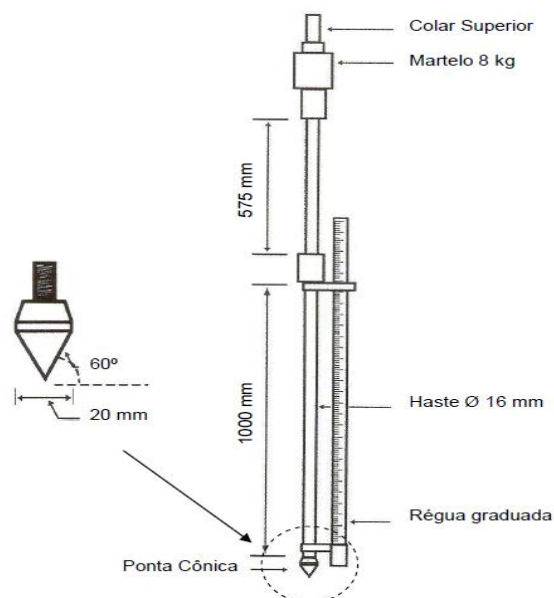


Figura 1. Esquema do penetrômetro dinâmico de cone (BENEVIDES, 2012).

O equipamento é utilizado para investigar profundidades de até 1,00 m abaixo da superfície, podendo-se utilizar hastes para prolongar essa profundidade (BENEVIDES, 2012).

Quanto ao procedimento de ensaio, trata-se de um procedimento simples, não requer mão de obra especializada, exige relativamente pouco esforço físico do operador dependendo do solo a ser ensaiado e a execução é rápida.

No Brasil não há normas quanto aos procedimentos do ensaio DCP e para isso pode-se usar a norma ASTM D-6951. De acordo com os procedimentos descritos nessa norma, a ocorrência de rochas ou de solos com partículas de maior dimensão faz com que a haste pare de penetrar. Então, o ensaio deve ser interrompido se, depois de cinco golpes, a penetração for inferior a 2 mm, ou caso o equipamento sofra um desvio da vertical superior a 75 mm. Sendo assim, o equipamento deve ser reposicionado para um novo local distante pelo menos 300 mm do local anterior para minimizar erros devido à perturbação do material (BENEVIDES, 2012).

Na execução do ensaio devem-se ter alguns cuidados como: verificar se o equipamento está

limpo e o bom estado do cone; durante o ensaio manter o equipamento sempre na vertical, para evitar que qualquer contato entre o peso (martelo) e a barra diminua o esforço na penetração do cone no solo; além do operador do peso ter um ritmo regular, deve cuidar, ao elevar o peso, para não bater no limite superior da altura de queda e provocar uma movimentação ascendente do aparelho; é muito importante uma vez extraído o instrumento, verificar se a ponta cônica está em bom estado.

Este ensaio não requer grandes escavações ou perfurações, por isso é caracterizado como um ensaio não destrutivo, sendo assim, é uma forma econômica de investigar o pavimento, além de não interferir no tráfego dos veículos.

Segundo Nogami e Villibor (1995), a faixa de trabalho deste aparelho é bastante ampla: desde solos moles ou pouco consistentes, até camadas de bases de brita graduada ou pedregulho.

Assim, a simplicidade e a mobilidade do DCP permitem realizar uma grande quantidade de ensaios, para então, avaliar melhor a homogeneidade das camadas em estudo, além do fato do DCP apresentar baixos custos de aquisição e operação. Por isso, torna-se viável a aplicação do DCP em prefeituras de pequeno porte para controle de obras viárias.

2 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste estudo se constituiu basicamente de duas etapas: etapa de gabinete e etapa de campo.

Na etapa de gabinete se configurou como a base da pesquisa, onde foi realizado o levantamento bibliográfico, em livros, artigos, teses, dissertações e materiais publicados em eventos das áreas de geotecnia, engenharia civil, geografia e geologia.

Na etapa de campo foi realizado o ensaio com o penetrômetro dinâmico de cone, no perfil e no centro da estrada, em toda a sua extensão. No perfil da estrada observou-se a predominância de uma vegetação de gramíneas e ao centro, em alguns pontos a presença de crosta.

O ensaio consiste em posicionar o aparelho

verticalmente ao solo, cuidando para que o mesmo não sofra um desvio da vertical. Então, o martelo do equipamento é levantado até o colar superior e liberado em queda livre, causando a penetração da lança inferior no solo. Mede-se em uma régua, em milímetros, a penetração no solo para cada golpe. No entanto, a primeira leitura é desconsiderada, pois a superfície de contato entre o cone e o solo no primeiro golpe é diferente dos demais.

O ensaio deve ser interrompido se, depois de cinco golpes, a penetração for inferior a 2mm, ou caso o equipamento sofra um desvio da vertical superior a 75mm. Ao total foram realizados 23 ensaios no decorrer do perfil e da estrada.

Os resultados são anotados em uma planilha padrão onde se indica, para cada golpe aplicado, a profundidade correspondente alcançada pelo cone de penetração.

Os resultados obtidos são utilizados para o cálculo do índice de penetração dinâmica, através da Equação 1:

$$DPI = L_n - L_1 / n - 1 \quad (1)$$

Onde: L_n é o deslocamento produzido pelo n-ésimo golpe; L_1 o deslocamento produzido pelo primeiro golpe e n é o n-ésimo golpe.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada dentro do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). O CISM é uma área militar do Exército Brasileiro, situada na região central do Rio Grande do Sul, na porção sudoeste da cidade de Santa Maria. Geograficamente, a área fica localizada entre as coordenadas 53° 48' 12''; 53° 53' 23'' de longitude oeste e 29° 42' 31''; 29° 47' 39'' de latitude sul, conforme Figura 2.

O CISM possui uma área de 5.866,9 hectares, sendo parte desta destinada ao treinamento de militares com blindados e outra parte arrendada para particulares que a utilizam para agricultura e pecuária.

Segundo Sant'Ana (2012) o CISM é uma das poucas Organizações Militares (OM) destinada a treinamento de militares com blindados no

Brasil. Por esse motivo, OMs e militares do Brasil inteiro e algumas vezes do exterior vem para o CISM para treinamentos. O mesmo autor enfatiza que as OM's que mais utilizaram o CISM para treinamentos com blindados nos anos de 2011 e 2012 foi o CIBLD (Centro de Instrução de Blindados), seguido do 1º RCC (1º Regimento de Carros de Combate) e 29º BIB (29º Batalhão de Infantaria Blindado). Salientando que tais OMs possuem, dentre sua frota, os blindados mais pesados como M60 (48,7 toneladas), Leopard A1 sabiex (45 toneladas), Leopard 1A1 (42,4 toneladas), Leopard 1A5 (42,4 toneladas).

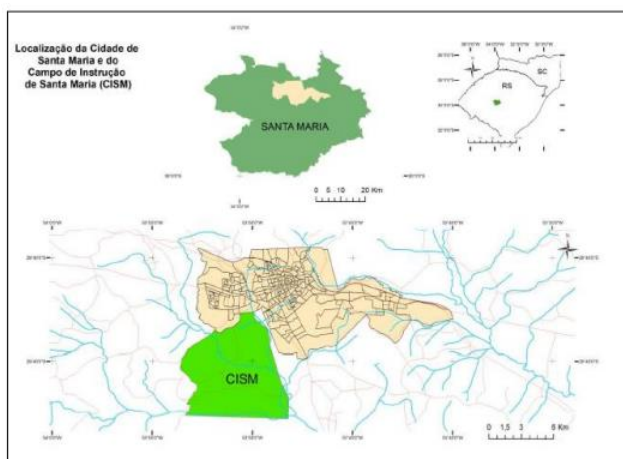


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo (SANT'ANA, 2012).

Conforme Pittelkow (2013) os aspectos físicos da área, identificam-se duas unidades geológicas distintas. Na base ocorre a Formação Santa Maria, uma transição entre membro Alemoa, predominante, e membro Passo das Tropas. Sobre estas ocorrem os arenitos da Formação Caturrita, em relevos mais elevados, coberta por depósitos de terraços aluviais, ligados aos arroios Taquarichim e Cadena.

Referente aos processos erosivos tem-se o desenvolvimento de sulcos e ravinas, atreladas as condições de fragilidade natural da área ao escoamento superficial. Concentra-se junto às estradas de terra, cujo traçado encontra-se em alguns casos perpendicular às curvas de nível do terreno. Também se observa a ação acelerada da erosão, junto aos cortes laterais das estradas, que não possuem um sistema de drenagem adequado (PITTELKOW, 2013).

Tendo em vista a grande extensão territorial do CISM, foi delimitada como área de estudo uma estrada de terra, situada em uma área de terraço fluvial, por ser uma das áreas mais impactadas, conforme Figura 3.



Figura 3. Estrada de terra em estudo.

Conforme os militares que utilizam o Campo de Instrução, os processos erosivos que estão ocorrendo junto à estrada de terra é um problema, pois fazem com que novas rotas se estabeleçam como alternativa para o tráfego de blindados o que origina novas áreas impactadas.

A Figura 4 mostra a formação de uma camada de crosta na estrada estudada por Pittelkow (2013) e por este trabalho, esta crosta se formou devido à compactação do solo pela passagem dos veículos pesados (blindados), nas operações militares.



Figura 4. Presença de crosta devido à compactação pela passagem dos blindados (PITTELKOW, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos em campo construiu-se a curva DCP, que consiste em uma representação do número de golpes acumulado para a penetração do equipamento com a profundidade. As Figuras 5, 6 e 7 mostram as curvas DCP para os ensaios realizados no perfil da estrada e ao longo da mesma, com e sem a presença da crosta.

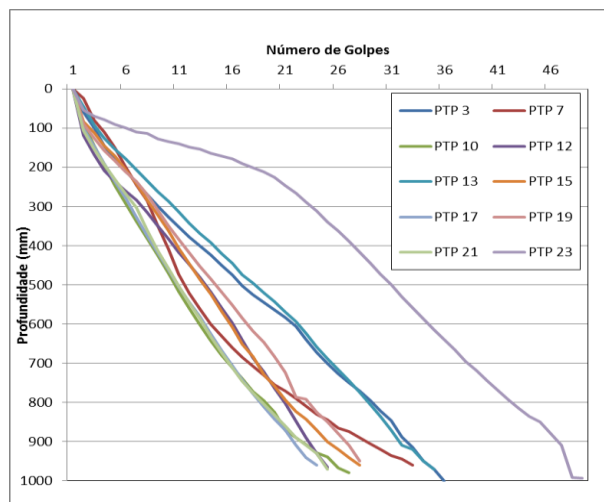


Figura 5. Curva DCP para o perfil da estrada.

Para o perfil da estrada conforme Figura 5, todas as curvas DCP apresentaram comportamento semelhante, indicado homogeneidade do material presente do perfil da estrada, desde a superfície até a profundidade de 1000mm. Essa homogeneidade caracteriza a primeira camada do perfil da estrada. Apenas o ponto PTP 23 apresentou variação se comparada com as outras curvas, variação esta que pode estar associada a inclinação do aparelho durante a realização do ensaio, ou a presença de eventual material mais resistente.

Os valores do índice de penetração para o perfil da estrada variaram de 20,71 a 41,74 (mm/golpes), caracterizando baixa resistência do solo à penetração.

O mesmo não é observado nos resultados quando o local do ensaio foi a estrada com a presença da crosta, conforme Figura 6. As curvas DCP para estes locais apresentaram variação de comportamento, indicando a presença de diferentes camadas para o mesmo ensaio, neste caso pode-se observar a presença

de até três camadas distintas para um mesmo ponto ensaiado. Neste caso, a primeira camada apresentou maior resistência a penetração que as demais, pois seu DPI variou de 7,5 a 12,16 mm/golpe. Enquanto que as demais tiveram DPI superior a 14,0 mm/golpe, chegando até a 37,75 mm/golpe, caracterizando um solo de baixa resistência a penetração.

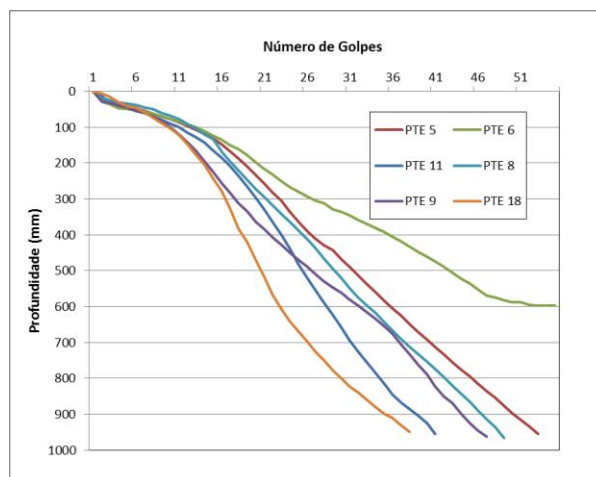


Figura 6. Curva DCP para a estrada estudada com a presença de crosta.

Pittelkow (2013) em sua dissertação de mestrado, realizou o ensaio de desagregação do material da estrada com a presença de crosta. crosta. Em seus resultados ela observou que a crosta apresentou lenta infiltrabilidade, não saturando completamente e permanecendo intacta durante todo o tempo do ensaio, ou seja, comprovando o resultado deste estudo que indica que a crosta apresenta maior resistência que as camadas inferiores. Ainda segundo a autora esse comportamento esta relacionado ao material arenoso e a alta compactação causada pelos blindados.

Para a estrada sem a presença de crosta, verifica-se no máximo duas camadas diferentes para um mesmo local, como indica a Figura 7. Na primeira camada, os valores de DPI variaram de 12,08 a 40,42 (mm/golpes), no entanto, a segunda camada os valores de DPI variaram de 25,27 a 28,06 mm/golpe, evidenciando que a primeira camada apresenta geralmente maior resistência a penetração se comparada com a camada seguinte.

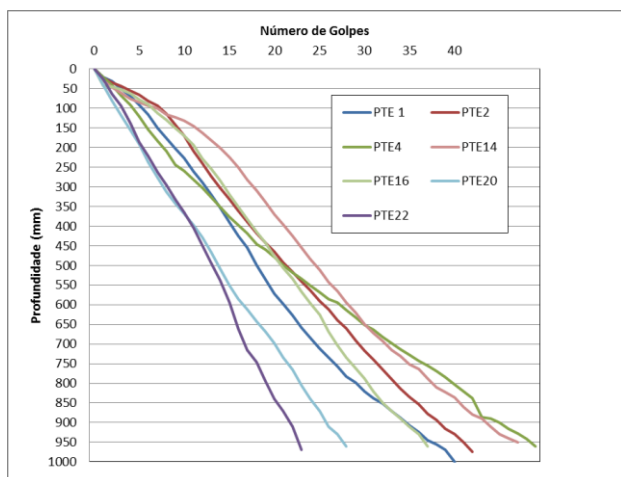


Figura 6. Curva DCP para a estrada estudada sem a presença de crosta

4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo evidenciam que as camadas situadas abaixo da crosta apresenta maior suscetibilidade de apresentarem processos erosivos que as demais, em função da sua baixa resistência a penetração.

Na estrada, com ou sem presença de crosta, a primeira camada apresentou maior resistência a penetração do cone. O perfil da estrada, apresentou menor resistência a penetração, provavelmente devido a este não estar compactado pela passagem dos blindados e pela presença de vegetação.

Deste modo, os resultados encontrados neste estudo coincidem com os resultados de estudos anteriores nesta área. Assim, conclui-se que a camada abaixo da crosta é mais suscetível aos processos erosivos, Fica assim, evidente a eficiência do ensaio de penetrômetro dinâmico de cone para caracterizar a suscetibilidade do solo à erosão, principalmente pelos resultados obtidos neste estudo. Além de ser um ensaio de fácil execução, de baixo custo e rápido resultado.

Por fim, sugere-se para o Campo de Instrução de Santa Maria a construção adequada de novas estradas de terra, principalmente, com projeto de drenagem adequado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em especial a Universidade Federal de Santa Maria e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, por subsidiar a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 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, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 251 p.
- Benevides, L.D. (2012). *Avaliação do uso do DCP em areias para o controle da capacidade de carga em fundações diretas e controle de compactação de aterros*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 111 p.
- Cardoso, A.C. e Trichês, G. (2000). Proposição de uma metodologia para a utilização do penetrômetro dinâmico de cone no controle da execução da camada final de terraplenagem, *32ª Reunião Anual de Pavimentação*, Brasília, p. 661-673.
- Costa, Y.D. et al. (2010). Influência da energia de compactação em resultados de ensaios com o cone de penetração dinâmica (DCP), *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Gramado*.
- Heyn, A. (1986). Aplicação do penetrômetro dinâmico de ponta de cone na avaliação de estruturas de pavimentação, *21ª Reunião de Pavimentação*, Salvador.
- Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*, Ed.Villibor, Brasília, p. 169-196.
- Oliveira, A.M. S. e Brito, S.N.A (1998). *Geologia de Engenharia*, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 587p.
- Pittelkow, G.C. (2013). *Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria.
- Ponce, H.M.A. et al. (1991). Utilizacion del Penetrometro Dimamico de Cono Portatil en la Caracterizacion y Avaluacion de los Suelos en el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles de Caminos de Transito Medio y Bajo, *6º Congresso Ibero-Latino Americano del Asfalto*.
- Rodrigues, J.K.G. e Lucena, F.B. (1991). Avaliação estrutural de um trecho pavimentado com solos lateríticos no estado da Paraíba, através de ensaios deflectométricos e pressiométricos, *25ª Reunião de Pavimentação*, São Paulo, p. 2531-2557.
- Santana, J.M. et al. (1998). Avaliação estrutural de pavimentos através de ensaios pressiométricos,

ensaios de placa e CBR In Situ, *XI Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Brasília, p. 665-672.

Sant'Ana, K.D.A (2012). *Diagnostico ambiental do meio físico do campo de Instrução de Santa Maria (CISM)*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, 125p.