

## VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DO CONE

Fellipe Rebouças de Carvalho<sup>1</sup>; Simone Andrea Furegatti<sup>2</sup>;

**Resumo** – A resistência do solo à penetração é a propriedade mais importante para identificar o grau de compactação do solo. E conseqüentemente, da suscetibilidade do solo à ocorrência de processos erosivos, que acabam por provocar danos ao solo, levando à sua total ou parcial inutilização para fins econômicos e sociais. O objetivo desse trabalho foi, a partir dos dados de resistência de uma malha amostral dentro da encosta estudada, determinar os locais característicos desta encosta, que correspondem aos locais mais representativos em relação à resistência do solo, a fim de servir como base para qualquer tipo de estudo mais aprofundado na região. O estudo foi realizado no município de Agudos-SP, em uma encosta localizada dentro de uma fazenda local e as avaliações de resistência do solo foram realizadas utilizando um penetrômetro dinâmico. A partir dos dados de resistência encontrados para cada local estudado, foi possível tratar estatisticamente a encosta como um todo, onde foram encontrados os locais característicos, definidos por sua alta representatividade de resistência em relação às áreas adjacentes. A partir das análises de mapa de calor feitas em toda a encosta, juntamente com os locais característicos encontrados foi possível afirmar que essa nova malha possui alta representatividade em relação à configuração real da região. Além disso, confirma a tese que indica a realização de estudos nas regiões superiores, inferiores e deformadas das encostas em geral.

**Palavras-Chave** – erosão do solo, resistência do solo à penetração, penetrômetro.

**Abstract** – Soil resistance to root penetration is the main parameter to identify the soil compaction degree. And for consequence, the soil susceptibility of erosive process, which cause damage to the soil, leading for its total or partial weakness for economic or social purposes. The purpose of this study was, from the collected data of resistance in each local of the studied slope, to determine the most representative locals of it, which correspond to the characteristic locals related to the soil resistance, which can be used for any kind of study on the region. The study was carried out in the town of Agudos-SP, most specified inside a local farm, and the resistance values were taken from a dynamic penetrometer. Based on the data of resistance found for each local and some statistic theories, it was possible to find the characteristic locals, which are defined as begin the most representative spots around it in terms of resistance. Through the analysis of the resistance around the whole slope, in addition to the characteristics locals who were found, it was possible to say that this new configuration defines with precision the real values of resistance in of the whole area. Besides, it confirms the theory that indicates the execution of studies on the superior, inferior and deformed parts of the hillsides in general.

**Keywords** – soil erosion, soil resistance, penetrometer.

---

<sup>1</sup> Eng. Civil, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus Bauru, (14) 31036707, fellipe\_carv@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng., Dra., Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus Bauru, (14) 31036707, furegatti@feb.unesp.br

## 1. INTRODUÇÃO

As forças que atuam na camada de solo próxima à superfície podem ser classificadas como externas e internas (COSTA, 2000). As forças externas resultam do tráfego de veículos, animais ou pessoas, assim como do crescimento de raízes grandes que empurram as partículas do solo para forçar sua passagem, podendo até causar compactação. As forças internas resultam de ciclos, como congelamento e degelo, umedecimento e secagem, e expansão e contração da massa do solo. A força externa resultante da ação de pressões sobre determinada área ocasiona a desagregação de partículas sólidas e líquidas que levam à diminuição do volume, pois as partículas finas tendem a ocupar os espaços vazios diminuindo a porosidade total, que caracteriza a compactação (CARVALHO FILHO et al., 2004). O rearranjo ou agrupamento cerrado das partículas primárias e ou secundárias do solo pode resultar na compactação ou no adensamento do solo. O adensamento está relacionado com a migração de partículas (processos pedogenéticos), enquanto a compactação resulta de processos mecânicos sobre a superfície do solo (COSTA, 2000). Esse rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade. A compactação altera uma série de fatores que afetam o crescimento radicular como aeração, retenção de água, resistência a penetração de raízes, podendo aumentar a susceptibilidade do solo a erosão, pois ao reduzir a porosidade, diminui a infiltração de água e conseqüentemente aumenta o escoamento superficial (SÁ & SANTOS JUNIOR, 2005).

A resistência do solo à penetração (RP) é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo oferece às raízes, sendo um dos mais comumente citados fatores físicos que afetam o crescimento das raízes (SILVA et al., 2008). A determinação da resistência à penetração em condições de campo tem sido feita, normalmente, com o auxílio de penetrômetros, que são aparelhos de fácil manuseio e não requerem muito tempo para a tomada das medições (DEXTER et al., 2007). A resistência do solo à penetração (RP) é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. Por isso, sua quantificação representa importante indicativo da dinâmica de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Stolf et al., 1983; Tormena & Roloff, 1996; Pereira et al., 2002; Mercante et al., 2003).

A RP, além da dependência de fatores intrínsecos do solo (textura, estrutura, mineralogia), é altamente dependente da umidade do solo (GOMES & PEÑA, 1996). Em condição de baixa umidade, a água encontra-se num maior estado de tensão nos poros do solo. Além dessa tensão, somam-se as forças de coesão e de adesão já existentes entre os sólidos do solo, resultando em maior resistência à deformação ou à penetração de raízes numa condição de baixa umidade (CUNHA et al., 2002). Com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição da RP (CUNHA et al., 2002). A diminuição da RP colabora para a ocorrência de processos erosivos prejudiciais a trabalhabilidade do solo. Erosão é definida pelo processo pelo qual a camada superficial do solo é retirada pelo impacto de gotas de chuva, ventos e ondas e são transportadas e depositadas em outro lugar. Inicia-se como erosão laminar e pode até atingir o grau de voçoroca, um fenômeno geológico que consiste na formação de grandes buracos de erosão causados pela chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não mais protege o solo, que fica cascalhento e suscetível de carregamento (ABREU, 1982).

No presente artigo é apresentada a análise da variabilidade da resistência do solo à penetração, com o objetivo de identificar os pontos críticos, quanto à esse parâmetro, de forma a representar uma área, em escala de encosta.

## 2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A região de estudo está localizada entre as latitudes de 22° 28' 14" e 22° 28' 20", longitudes de 49° 01' 41" e 49° 01' 47", além das altitudes entre 620 m e 610 m, inserida no Estado de São Paulo, município de Agudos (Figura 1).

O tipo de solo predominante pode ser caracterizado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico. Suas características são de solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a profundos e textura variando de arenosa/média a argilosa/muito argilosa. A relação textural é também muito variável, ocorrendo solos com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B, até solos com pequena variação do teor de argila ao longo do perfil. Ocorrem em relevos com encostas declivosas, predominando relevos de colinas médias e morretes alongados. Em geral, existe certa relação entre a profundidade dos perfis, textura e declividade de encostas. Solos de texturas arenosas são normalmente profundos, enquanto os de textura argilosa apresentam profundidades relativamente menores. Por outro lado, observa-se que os perfis mais profundos se situam nas porções inferiores das encostas, coincidindo com superfícies menos declivosas. (TRAFICANTE, Cristian, 2007).

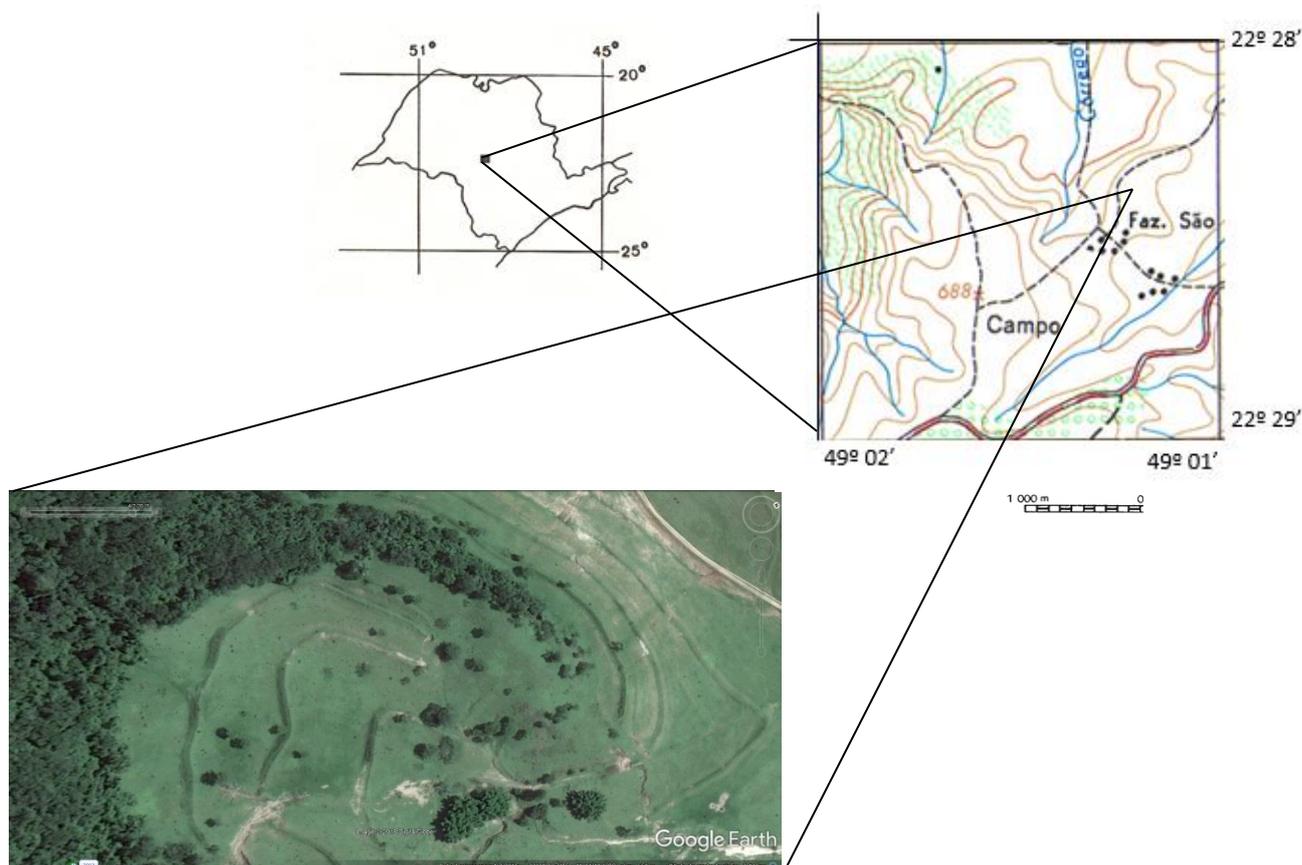


Figura 1: Localização da área de estudo

### 3. AMOSTRAGEM

Para escolha da encosta para realização dos ensaios se considerou o potencial erosivo da região, o tipo de cobertura vegetal e uso do solo existente, além da acessibilidade do local. Como a área de estudo está inserida em uma região de clima chuvoso e elevadas inclinações de talude, a região pode ser considerada de alto potencial erosivo. Além disso, foi apurado que a área já teve como uso do solo a plantação de cana-de-açúcar e atualmente é utilizada principalmente para criação de gado, portanto, mais suscetível a alterações ao longo do tempo.

O limite superior da encosta foi definido como o ponto em que para de ascender, o ponto de maior altitude. Enquanto os limites inferiores e superiores foram caracterizados pelas maiores inflexões. Para o fundo, a região em que o relevo se torna plano, e para as laterais, onde o relevo modifica sua inclinação, que no caso específico dessa encosta é onde ele começa a descender.

A partir da limitação da área de estudo, foram distribuídos os pontos de realização dos ensaios, definindo a malha amostral. A distância entre os locais da malha na longitudinal seguiu uma medida padrão de aproximadamente 20 m, enquanto a distribuição dos eixos da malha na transversal levou em conta as diversas formas do talude, inclusive a existência de curvas de nível. A representação esquemática da malha dos locais ensaiados e a divisão em duas partes estão ilustradas na Figura 2. A direção longitudinal foi denominada “Eixo”, sendo distribuída de cima para baixo, numerada de 1 a 6. Enquanto que a distribuição transversal foi denominada “Local”, dividida de A a H, da esquerda para a direita. A partir dos parâmetros visuais e físicos da encosta, como inflexão e formato, a encosta foi dividida em duas partes, denominadas aqui como Parte 1 e Parte 2 (Figura 2).



Figura 2- Representação via Satélite da Encosta e suas delimitações  
Fonte: Adaptado do Google Earth.

#### 4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Os dados de resistência do solo à penetração do cone foram obtidos a partir do uso do penetrômetro dinâmico de Stolf, equipamento composto por uma base, uma haste maior (que penetra no solo), outra menor (que serve de guia para o martelo) um martelo, um cone de penetração e anéis (que funcionam como limites para o martelo). O peso do martelo utilizado nos ensaios aqui analisados foi de 4 kg, enquanto o conjunto hastes mais anéis pesava 8 kg. Altura de queda do martelo é de 40 cm e a resistência à penetração do solo foi gerada utilizando-se a Equação considerada por Vanags et al. (2005). A Figura 3 ilustra o aparelho usado.

Amostras de solo foram coletadas nas proximidades de cada local de ensaio para cálculo do teor de umidade. Usou-se um coletor de amostras para determinação de teor de umidade manual, com capacidade para coletar solo até a profundidade de 60 cm. As amostras foram obtidas em intervalos de 10 cm, totalizando 6 amostras por local.

O Penetrômetro é um instrumento que tem por finalidade fornecer índices sobre a resistência que o solo oferece à sua penetração. Consiste em um tubo ou uma ponteira maciça, conectada às hastes, e introduzido no solo através de pressão de um macaco hidráulico

(penetração estática) ou de golpes de peso de cravação (penetração dinâmica). (GLOSSÁRIO DE EQUIPAMENTO DE SONDAgens da ABGE, 1980).



Figura 3- Penetrômetro de impacto de Stolf

O equipamento utilizado para medir resistência à penetração vertical foi o penetrômetro de impacto modelo comercial Stolf. O penetrômetro de cone, também denominado de penetrômetro dinâmico, é um equipamento largamente utilizado em aplicações agrícolas para detectar camadas compactadas de solo. Tal aparelho apresenta como vantagens facilidade e velocidade de uso, baixo custo e forte relação com as condições físicas do solo para o crescimento do sistema radicular das plantas, além da possibilidade de medidas diretas de campo com grande número de repetições.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de resistência obtidos para o perfil do solo de cada local da malha amostral, foram traçados gráficos de Resistência x Profundidade. Na Figura 4 são apresentadas algumas das curvas obtidas para determinados locais que se caracterizaram como representativos da encosta.

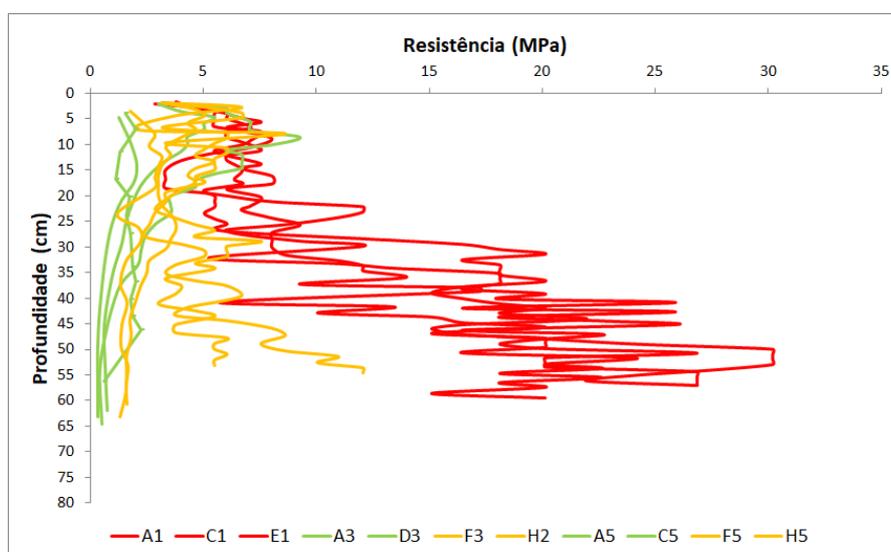


Figura 4 – Gráfico de resistência do solo à penetração, em profundidade, dos locais representativos da encosta: A1, C1, E1, A3, D3, F3, H2, A5, C5, F5 e H5.

É possível observar que a partir dos 30 cm de profundidade a resistência do perfil varia bruscamente para todos os locais. Dessa forma, foram realizadas análises separadas para cada intervalo: entre 0 e 30 cm e entre 30 e 60 cm, de maneira a buscar resultados que melhor representassem a encosta.

Os valores médios de resistência encontrados para cada local da malha amostral foram esquematizados em forma de mapa de calor, de maneira a auxiliar na visualização dos valores de resistência obtidos e são apresentados na Tabela 1, para o intervalo de profundidade entre 0 e 30 cm e na Tabela 2, para profundidades entre 30 e 60 cm. As cores do mapa de calor variam dos tons de vermelho, para os maiores valores, passando por tons de amarelo e, chegando aos tons de verde, para os valores menores.

Tabela 1 – Mapa de calor dos valores de Resistência (MPa), por local (0 – 30cm)

Pontos	Eixos							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	6,6	6,4	6,4	6,5	6,9	10,9	5,1	5,8
2	5,3	5,9	3,4	5,0	5,6	7,4	3,7	4,5
3	5,0	4,3	2,4	3,0	4,6	4,5	4,6	6,0
4	3,2	3,7	2,1	2,2	4,2	2,2	4,2	4,3
5	1,6	4,3	1,3	1,4	4,6	2,5	2,4	3,8
6	3,8	3,9	6,1	-	-	-	-	-

Tabela 2 – Mapa de calor dos valores de Resistência (MPa), por local (30 – 60cm)

Pontos	Eixos							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	21,3	20,3	14,5	14,3	20,2	25,5	3,3	4,9
2	2,5	1,9	0,9	1,8	1,9	6,6	1,4	2,0
3	1,1	3,8	1,0	1,1	1,4	7,1	1,4	2,2
4	1,3	1,6	2,1	1,7	0,8	0,8	0,9	2,0
5	1,6	1,7	0,5	1,3	5,2	1,5	1,5	1,9
6	3,2	3,3	4,8	-	-	-	-	-

A partir dos mapas de calor gerados se observa, conforme o esperado, uma alta resistência constante em todo o topo da encosta, que tende a diminuir quando analisamos os locais mais inferiores da malha amostral. Os locais situados sobre as curvas de nível (3A,3B,3C e 5A,5B,5C) não apresentaram a variação de resistência esperada no início do projeto, uma vez que os solos dessas áreas são trabalhados e apresentam menor compactação. O esperado seria que sua resistência fosse significativamente menor em comparação as áreas entre curvas de nível.

Para se determinar os pontos significativos da encosta foram utilizadas as ferramentas de desvio padrão em relação a um ponto. Cada local ensaiado da encosta foi analisado de maneira a encontrar os menores valores de variação adjacente, que é resultado do desvio do valor de resistência de um local em função das resistências encontradas ao seu redor. Assim, quanto menor for seu valor, mais representativo de suas áreas adjacentes o ponto será. Os desvios encontrados para cada local da malha amostral, considerando o valor total da profundidade analisada estão representados na Tabela 3.

A partir da Tabela 3 foi possível identificar os locais mais representativos em relação às suas áreas adjacentes. Por exemplo, o local H5 apresentou o menor desvio padrão, que foi de apenas 0,9 em relação aos seus locais adjacentes G5, G4 e H4. Dessa forma, é possível utilizá-lo como local representativo da região em que ele está contido. Esse padrão foi seguido a partir dos menores valores de desvio padrão, até se chegar a uma malha ótima, que representa os pontos significativos da encosta estudada.

Tabela 3 – Desvio padrão de cada local em relação às Resistências em seu entorno.

Pontos	Eixos							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	9,8	9,4	8,3	8,4	9,7	10,5	8,0	1,9
2	9,0	8,6	7,9	8,0	9,1	8,4	6,2	1,0
3	1,5	1,7	1,6	1,5	3,2	2,9	2,8	1,1
4	1,5	1,7	1,6	2,0	2,8	2,6	2,1	1,0
5	1,4	2,2	2,3	2,3	2,1	2,1	1,3	0,9
6	1,7	2,6	3,0					

A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam, para cada faixa de profundidade avaliada, 0 – 30 cm e 30 – 60 cm, respectivamente, os valores de resistência do solo à penetração dos pontos que formam a malha considerada ótima. A Figura 5 ilustra a distribuição, na encosta, dos 11 locais que formariam a malha amostral ideal, obtidos com os resultados analisados e indicados na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 – Malha ótima da encosta com seus respectivos valores de Resistência (MPa) por local (0-30cm)

Pontos	Eixos							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	6,6	-	6,4	-	6,9	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	4,5
3	5,0	-	-	3,0	-	4,5	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1,6	-	1,3	-	-	2,5	-	3,8
6	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5 – Malha ótima da encosta com seus respectivos valores de Resistência (MPa) por local (30-60cm)

Pontos	Eixos							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	21,3	-	14,5	-	20,2	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	2,0
3	1,1	-	-	1,1	-	7,1	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1,6	-	0,5	-	-	1,5	-	1,9
6	-	-	-	-	-	-	-	-

Com a análise do desvio padrão, foi possível reduzir o número de locais da malha amostral da encosta, para apenas 11. Contudo, a análise dos valores obtidos para os 11 locais indica que com três ou quatro locais ensaiados seria possível se ter uma boa representatividade da encosta. Assim, realizando um ensaio no topo da encosta, um no meio e outro no pé da encosta se teria uma representatividade mínima das resistências do solo à penetração, indicativo da compacidade do solo superficial e, conseqüentemente, de um dos fatores de importância nos processos erosivos. No caso estudado, um quarto ensaio seria necessário em local distinto dos demais, o no Local F3. Os números indicam um aumento considerável de resistência à penetração nesse local, em relação aos demais locais distribuídos na parte em declive do talude, principalmente nas profundidades entre 30 e 60 cm (Ver Tabela 4 e Tabela 5). Nesta região, de fato, há uma diversidade, pois foi encontrado uma grande ocorrência de buracos e deformações no relevo da encosta, conforme Figura 6, proporcionando ao solo a obtenção de características distintas do restante da formação. Dessa forma, não foi encontrada a resistência à penetração esperada, de acordo com seus locais ao redor, justificando a realização de um ensaio específico nesta região.



Figura 5 – Distribuição dos locais da malha considerada ótima



Figura 6 – Representação fotográfica de região do Local F3.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os maiores valores de resistência foram encontrados no topo da encosta, o que já era esperado devido às características padrão das formações de relevos de encostas. Os resultados indicaram que as curvas de nível construídas não apresentaram altas variações na resistência do solo à penetração, contrariando as expectativas de menores compactações nessas regiões.

A análise estatística aplicada para a identificação dos pontos se mostrou coerente, uma vez que indica que se deve realizar ensaios prioritariamente no topo, meio e no pé da encosta, de maneira a evidenciar os diferentes valores de resistência que são usualmente obtidos. Possibilitou, também, a definição de uma malha amostral considerada ideal, com os locais representados na Figura 10. Considerações que podem ser adotadas por qualquer tipo de pesquisa de campo voltada para resistência do solo à penetração, a ser realizada em uma encosta, de maneira a poupar o tempo e trabalho da equipe na obtenção dos dados, contribuindo para estudos sobre processos erosivos, sobre cultivo agrícola, etc.

Finalmente, se chegou ao número de ensaios mínimos para se representar uma encosta com características semelhantes à encosta estudada, que seriam um no topo, um no meio e um no fundo da encosta, acrescidos de locais situados em condições diversas àquelas do restante da encosta, como descrito neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABGE (1980) Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia – Equipamentos de Sondagens.

ABREU, A. A. (1982). “*Análise geomorfológica: reflexão e aplicação (Uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto de Diamantina – MG)*”. 1982. 296 p. Tese de Livre Docência, Departamento de Geografia, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo.

BIBLIOTECA IBGE (1973) “*Levantamento Estereofotogramétrico*”.

CARVALHO FILHO, O.M. et al (2004) “*Produção de leite em sistema agroecológico no semi-árido Sergipano*”. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2, Porto Alegre.

COSTA, O.V. (2000) “*Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: Ciclagem de nutrientes e compactação. Viçosa*”: UFV, 30p

CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C.(2002) “*Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura*”, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A. & GATE, O. P. (2007) “*A method for prediction of soil penetration resistance*”. Soil & Tillage Research, 93:412-419.

GOMES, A.; PEÑA, Y.A.(1996) “*Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro*”. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.49, n.1, p.18-20.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A. & SOUZA, E.G. (2003) “*Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado*”. R. Bras. Ci. Solo, 27:1149-1159.

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A. & SILVA, S.L.(2002) *Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo*. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 6:171-174.

SANTOS, G. A.; SOUZA, C. A. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; FURTINI NETO, A. E GUIMARÃES, P. T. G. (2005) “*Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (Zea mays L.) cultivadas em solos distintos*”. Ciência Agrotecnológica., Lavras, v. 29, p.740-752.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. (1983) “*Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf*”. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n. 1)

TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. (1996) “*Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto*”. R. Bras. Ci. Solo, 20:333-339.

TRAFICANTE, CHRISTIAN (2007) “*Ecologia da paisagem para avaliação da idoneidade de redes ecológicas, como subsídio para o planejamento territorial*”.

VANAGS, C.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. (2004) “*The Dynamic Penetrometer for Assessment of Soil Mechanical Resistance*”. Super Soil 2004. Sydney: The Regional Institute.

.  
.