

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ERODIBILIDADE DE UM SOLO TRATADO COM ADITIVOS QUÍMICOS

W.J. Freire ¹

INTRODUÇÃO

A literatura relata que, sob o ponto de vista científico, as primeiras pesquisas, visando o estudo da atuação e efeito de agentes erosivos sobre a estabilidade de solos, ocorreram ainda em fins do século passado, muito embora apenas nestas últimas três décadas tenham surgido equações empíricas para estimar quantitativamente as perdas de solo.

A erosão acelerada, que o homem provocou pela ativação do processo erosivo natural ou geológico a níveis quase que incontroláveis, é hoje verdadeiro flagelo da humanidade.

Discorrendo a respeito da importância do problema da erosão do solo para a atividade agropecuária do país, NOLLA & WUNSCH (1978) relataram a perda de 95 toneladas de solo por hectare, constatada experimentalmente no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, em Passo Fundo, RS, em consequência de uma única chuva de 50 minutos, ocorrida no dia 18 de fevereiro de 1977. Segundo os autores, essa perda corresponde a uma camada de 0,7 cm de solo, camada esta que a natureza levaria oito anos para formar.

¹ Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, SP

De acordo com BERTOLINI & BELLINAZZI Jr. (1982), no ano agrícola 1980/81, a quantidade de solo arrastado das áreas cultivadas, por efeito da erosão, foi da ordem de 194 milhões de toneladas.

KIEHL (1970) lembrou que somente o rio Amazonas transporta em suas águas mais de um bilhão de toneladas de sedimentos por ano, ou seja, 3 milhões de metros cúbicos de sedimentos por dia.

Segundo os cálculos de BERTONI (1966/67), o desgaste pela erosão, de uma camada de 15 cm de solo coberto de mata, em condições naturais, dar-se-ia, em média, em 440 mil anos. A mesma camada seria desgastada em 4 mil anos, se o solo fosse coberto de pastagens; em 2 mil anos, se a cobertura vegetal fosse de plantas perenes, como o cafeeiro; em apenas 70 anos, se a cobertura fosse de culturas anuais, como o algodão.

Os solos arenosos, de baixa resistência à erosão, ocupam, conforme BERTOLINI & BELLINAZZI Jr. (1982), aproximadamente 53% da área do Estado de São Paulo; somando-se a esta área aquela ocupada pelos litossolos, igualmente bastante erodíveis, a porcentagem de solos altamente susceptíveis à erosão, no Estado, ultrapassa 60%.

A própria Formação Bauru, que ocupa cerca de metade da área do Estado de São Paulo e cobre todo o seu planalto ocidental, estendendo-se, ainda, ao extremo oeste do Estado de Minas Gerais, ao sul do Estado de Goiás e ao sul e leste do Estado de Mato Grosso do Sul, apresenta, de acordo com PASTORE & MIOTO (1981), o fenômeno da desagregação superficial, de certa forma, generalizado.

SOARES et alii (1973), procedendo a levantamento geológico do nordeste do Estado de São Paulo, definiram as características da Formação Bauru e observaram que sobre ela há extensa cobertura de sedimentos cenozóicos de origens diversas em idades diferentes. Depósitos terciários

rios de arenitos amarelo-avermelhados mal consolidados, terminando em camadas de argila e produzindo solos muito pobres, além de depósitos quaternários de areias intercalando níveis de cascalho retrabalhado, porém, também com seixos de basalto e arenito parcialmente limonitizados, estes sofrendo erosão acelerada, foram identificadas pelos autores.

O processo de erosão pela água se inicia pela desagregação das partículas do solo mediante o impacto violento das gotas de chuva que caem com energia variável, respingando a alturas de até 70 cm e a distâncias de até 1,5 m. Além de desprender as partículas de solo, o impacto direto das gotas de chuva desloca-as por salpicação, promovendo, ainda turbulência na enxurrada.

Os sedimentos em suspensão, transportados pelas águas de enxurradas, córregos e rios, não apenas provocam poluição química (pois carregam consigo defensivos agrícolas, herbicidas, fertilizantes e corretivos) como, também, afetam o desenvolvimento da vida aquática, em virtude da turvação das águas e conseqüente impedimento à penetração de luz.

Sua deposição nos baixios resulta no assoreamento de reservatórios, portos, rios etc., prejudicando o potencial hidrelétrico, a navegabilidade e o tráfego por estradas de rodagem e de ferro, e favorecendo a inundação das áreas mais baixas.

Existem várias maneiras de expressar o potencial de erodibilidade dos solos, tais como, através do índice de erodibilidade, calculado nomograficamente pela combinação de cinco fatores, descrito por FREIRE & PESSOTTI (1976); do critério de erodibilidade, fornecido pelo ensaio do furo de agulha; da relação de dispersão do solo, calculada segundo o método do **Soil Conservation Service**; etc.

Todos estes métodos têm uma ou outra limitação, carecendo de normalização padronizada e de maior aplicação

Constitui objetivo deste trabalho a avaliação do potencial de erodibilidade de um solo, tratado com diferentes doses de aditivos químicos, através do método do furo de agulha e da relação de dispersão do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo pesquisado pertence à classe textural areno argilosa, segundo os critérios da classificação trilinear do BPR (Bureau of Public Roads), e foi classificado pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo (1960) como Latossol Vermelho Escuro-fase arenosa, tendo como material de origem o arenito Bauro sem cimento calcário. Suas principais características estão apresentadas no quadro I.

QUADRO I - Características principais do solo areno-argiloso empregado.

Composição granulométrica:	
- areia grossa (0,42-2,00mm)	1,7%
- areia fina (0,074-0,42mm)	47,1%
- silte (0,005-0,074mm)	18,2%
- argila (<0,005mm)	33,0%
Limite de consistência:	
- limite de liquidez	26,3%
- índice de plasticidade	12,0%
Características de compactação:	
- peso específico dos sólidos	27,2 kN/m ³
- peso específico aparente seco máximo	19,3 kN/m ³
- teor de umidade ótima	12,5%
- índice de vazios	0,41
- grau de saturação	82,93%

Os aditivos químicos empregados foram o silicato de sódio, neutro, de relação sílica-álcali igual a 3,2, contendo 30,1% de SiO₂, em peso, nas dosagens de 1% e 2%; o DS-328, composto de um estabilizante líquido e de um neutralizante granulado, na proporção de 1:1000 e 1:1500, em relação ao peso do solo seco, e cimento Portland comum CP-320, à razão de 4% e 6% em peso.

Os tratamentos foram aplicados ao solo da forma descrita por FREIRE (1981) e os ensaios de laboratório foram realizados no Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP (Companhia Energética de São Paulo), em Ilha Solteira, SP.

O ensaio do furo de agulha ("pin-hole test"), desenvolvido para identificar o potencial de erodibilidade de solos, vale-se de amostras peneiradas em peneira de malha igual a 2,0 mm.

Na base do cilindro de acrílico, utilizado para a moldagem do corpo de prova, coloca-se uma camada de cascalho (passado em peneira 3/8" e retido na peneira nº 4) e, sobre esta, uma tela de proteção de abertura de malha igual à da peneira nº 16 da ASTM (American Society for Testing Materials). Sobre esta camada de cascalho compacta-se a amostra de solo, que deve estar com seu teor de umidade próximo ao do limite de plasticidade, com auxílio do aparelho pisoteador do tipo "Harvard Miniature", em cinco camadas de modo a obter-se um grau de compactação igual a 95% em relação ao do ensaio de Proctor normal.

As dimensões do cilindro de acrílico são: 2,8cm de diâmetro interno, 10,6 cm de comprimento e paredes de espessura igual a 2 mm.

Crava-se, então, no topo do corpo de prova, através de pressão exercida com os dedos, o guia da agulha perfuratriz (cone truncado de plástico ou metal, perfurado no centro para passagem da agulha, com as dimensões de 1 cm na base maior, 0,4 cm na base menor e 1,25 cm de

altura); através dele faz-se penetrar uma agulha de aço, de 1 mm de diâmetro, que deve atravessar o corpo de prova, do topo à base.

Sobre o corpo de prova perfurado colocam-se duas telas semelhantes à anteriormente descrita e nova camada de cascalho para regularização do fluxo de água.

O cilindro de acrílico é assentado na base de ensaio, deixando-se percolar água destilada através do furo de agulha sob a ação de cargas piezométricas iguais a 5 cm, 18 cm, 38 cm e 102 cm, por períodos de tempo de 5 a 10 minutos para cada carga. Mede-se continuamente a vazão percolada, sendo os valores registrados; observa-se a cor da água através da proveta transparente e também na saída do cilindro de percolação.

Após sucessivas aplicações de carga, o cilindro é desconectado da base, o corpo de prova extrudado e partido, e examinada a dimensão do furo que é comparada com a da mesma agulha utilizada na punção.

Os critérios interpretativos deste ensaio de erodibilidade encontram-se resumidos no quadro II.

A determinação da relação de dispersão é realizada sobre amostra de solo passada na peneira de malha igual a 2,0 mm.

O procedimento do ensaio, também conhecido por ensaio SCS (sigla do "**Soil Conservation Service**", organismo que o desenvolveu), é em tudo semelhante à realização de dois ensaios de sedimentação, um dos quais realizado sem a adição de desfloculante, enquanto que o outro segue os padrões normais. A diferença entre este ensaio e o ensaio padrão de sedimentação reside apenas no fato de se utilizar uma quantidade de terra menor (25 g de amostra) e de executar o ensaio sem desfloculante com a menor agitação possível (30 movimentos de agitação de proveta durante 1 minuto).

QUADRO II - Resumo dos critérios interpretativos do ensaio do furo de agulha ("pin-hole test").

Classificação	Carga (cm)	Tempo de ensaio para uma dada carga (min.)	Vazão do furo de uma etapa (ml / s)	Coloração do fluxo ao final de uma etapa	Diâmetro do furo ao final de uma etapa (ϕ inicial)
D ₁	5	5	> 1,5	Distinta	2 X
D ₂	5	10	> 1,0	De distinta a leve	2 X
ND ₄	5	10	< 0,8	Leve mas facilmente visível	1,5 X
ND ₃	18-38	5	> 2,5	Leve mas facilmente visível	2 X
ND ₂	102	5	> 3,5	Clara ou levemente visível	2 X
ND ₁	102	5	< 5,0	Cristalina	Sem erosão

D₁ = argilas altamente dispersíveis; D₂ = argilas dispersíveis; ND₄ = dispersibilidade de média; ND₃ = dispersibilidade média; ND₂ = não dispersíveis; ND₁ = não dispersíveis.

Após o cálculo das distribuições granulométricas, dos ensaios com e sem desfloculante, a relação de dispersão do solo ensaiado é obtida da seguinte forma:

$$\text{Relação de dispersão} = \frac{\text{teor de argila no ensaio de sedimentação sem desfloculante}}{\text{teor de argila no ensaio normal de sedimentação}} \times 100$$

Quanto maior o valor numérico encontrado para a relação de dispersão, maior será a probabilidade do solo analisado apresentar problemas de dispersibilidade, ou seja, maior será a facilidade do solo entrar em suspensão (desflocular) mesmo em ausência de um agente químico desfloculante.

Correlacionando os valores da relação de dispersão com os do ensaio do furo de agulha, pode-se adotar o seguinte critério que, não sendo absoluto, permite identificar a ocorrência de solos dispersivos:

Valor da relação de dispersão	Correlação com os critérios interpretativos do ensaio do furo de agulha
0 - 20	Não erodível
20 - 60	Não erodível/erodível
60 - 100	Erodível

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quadros III e IV estão apresentados os dados referentes à aplicação dos ensaios de erodibilidade ao solo sob tratamento com aditivos químicos. A aplicação dos critérios interpretativos do ensaio do furo de agulha aos dados obtidos mostrou que todos os tratamentos

QUADRO III - Classificação do solo, sob tratamento com aditivos químicos, quanto aos critérios interpretativos do ensaio do furo de agulha ("pin-hole test")

Tratamento	Classificação	Interpretação
Testemunha	ND ₂	Não dispersivo
1% Silicato de Sódio	ND ₄	Média dispersibilidade
2% Silicato de Sódio	ND ₁	Não dispersivo
1:1000 DS-328	ND ₁	Não dispersivo
1:1500 DS-328	ND ₁	Não dispersivo
4% Cimento	ND ₁	Não dispersivo
5% Cimento	ND ₁	Não dispersivo

QUADRO IV - Relação de dispersão do solo, segundo o método do SOIL CONSERVATION SERVICE.

tratamento	Teor percentual de argila						Valor da relação de dispersão	
	Com desflocculante			Sem desflocculante				
	A	B	C	\bar{x}	A	B		C
estemunha	35	31	33	33,0	0	0	0	0,0
% Silicato de Sódio	24	24	25	24,3	6	6	8	6,6
% Silicato de Sódio	18	16	15	16,3	3	2	2	2,3
:1000 DS-328	31	32	31	31,3	2	1	2	1,7
:1500 DS-328	33	31	30	31,3	0	2	0	0,67
% Cimento								
% Cimento								

A, B, C = repetições não se aplica
 \bar{x} = média não se aplica

se caracterizaram pela não dispersibilidade, com exceção do tratamento 1% de silicato de sódio que acusou dispersibilidade média para o solo analisado.

Como as argilas dispersíveis possuem preponderância de íons sódio dissolvidos na água intersticial do solo, enquanto que as argilas resistentes à dispersão possuem predominância de íons cálcio e magnésio, era de se esperar que o tratamento do solo com silicato de sódio aumentasse a dispersibilidade da argila, uma vez que tal produto contribui com íons sódio, dotados de características desfloculantes.

Os valores da relação de dispersão do solo indicaram que os tratamentos não se diferenciaram da testemunha que identificou o solo areno-argiloso empregado como sendo um material não erodível.

CONCLUSÃO

Resguardadas as condições do trabalho, os resultados obtidos permitiram concluir que o tratamento do solo areno-argiloso com silicato de sódio e DS-328 não alterou suas características de erodibilidade, mantendo-se o mesmo não erodível.

Da mesma forma, com exceção do tratamento 1% de silicato de sódio, todos os demais se confundiram com a testemunha quanto ao caráter não dispersivo do material formado.

RESUMO

Dentre os vários métodos existentes para se avaliar o potencial de erodibilidade do solo, foram empregados, neste trabalho, o método do furo de agulha ("pin hole test") e o método do **Soil Conservation Service**,

através do qual se calcula a relação de dispersão do solo.

O solo areno-argiloso estudado foi tratado com 1% e 2% de silicato de sódio, 1:1000 e 1:1500 de DS-328, e 4% e 6% de cimento portland, sendo, em seguida, submetido aos ensaios de erodibilidade.

Os resultados mostraram que o tratamento com aditivos químicos não alterou as características de erodibilidade do solo, que se comportou como sendo um material não erodível e não dispersivo.

SUMMARY

ERODIBILITY POTENTIAL EVALUATION OF A SOIL TREATED WITH CHEMICAL ADDITIVES

The pin-hole test and the Soil Conservation Service method were employed in this work to estimate the soil erodibility potential parameters.

The sand-clayed soil was treated with 1.0% and 2.0% of sodium silicate, 1:1000 and 1:1500 of DS-328, and 4.0% and 6.0% of portland cement, and submitted to erodibility tests.

The results provided by both methods showed that soil erodibility characteristics were not affected by the chemical treatment. Soil-additive behaved as a non erodible and non dispersive material.

LITERATURA CITADA

BERTOLINI, D. & R. BELLINAZZI Jr., 1982. Prevenindo a erosão. *A Granja* 39(419): 60-63

- BERTONI, J., 1966/67. Práticas simples reduzem erosão. **Guia Rural**, p.264-268.
- DIVISÃO DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1960. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**, Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, Comissão de Solos, B. 12, 634p.
- FREIRE, W.J., 1981. **Aditivos químicos e seus efeitos sobre a estabilidade de taludes e qualidade do material formado**, tese de livre-docência, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 113p.
- FREIRE, O. & J.E.S. PESSOTTI, 1976. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. **Revista de Agricultura** 51(3-4): 195-202.
- KIEHL, E.J., 1970. Como começa a erosão. **Coopercotia**, dezembro/70, p.33-35.
- NOLLA, D. & W. WUNSCHÉ, 1978. A luta pela conservação. **A Granja** 34(370): 54-61.
- PASTORE, E.L. & J.A. MIOTO, 1981. Fenômenos de desagregação superficial em rochas da Formação Bauru, no Estado de São Paulo. In: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3º Itapema, SC, Anais, Vol. 3, p. 235-254.
- SOARES, P.C., O. SINELLI, F. PENALVA, E. WERNICK, A. SOUZA & P.R.M. CASTRO, 1973. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: Sociedade Brasileira de Geologia, 27º Congresso, Aracaju, SE, **Anais**, vol. 1, p.209-228.