# COMISSÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## SALPICO DE PARTÍCULAS E SELAMENTO SUPERFICIAL EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL[1]

J. M. REICHERT[2] & M. S. V. CABEDA[3]


### RESUMO

**Avaliou-se o salpico de partículas e sua relação com o selamento superficial em sete solos do Rio Grande do Sul, com ampla variação em suas características físicas, químicas e mineralógicas. As amostras de solo, compostas de agregados menores que 10mm, foram submetidas a chuvas simuladas de alta intensidade (84 a 88mm/h), em duas condições iniciais de umidade de solo. As partículas salpicadas foram coletadas em uma calha coletora, em intervalos determinados. A taxa média de salpico foi negativa e significativamente correlacionada com a estabilidade de agregados, argila, carbono orgânico, retenção de água a diferentes potenciais matriciais, óxidos de ferro amorfos e óxidos de ferro e de alumínio cristalinos, e positiva e significativamente com a areia. Em solos argilosos, a presença de argila expansiva tendeu a aumentar a taxa média de salpico. A umidade inicial do solo não afetou significativamente o salpico. As taxas de salpico, nos solos com baixa estabilidade de agregados, aumentaram até aproximadamente o início do escoamento de água, atingindo, após, uma taxa aproximadamente constante, com o selamento superficial. Nos solos com maior estabilidade de agregados, o selo superficial parece não ter afetado o salpico.**


**Termos de indexação: erosão; crosta superficial; estabilidade de agregados; infiltração de água.**


### SUMMARY: *SPLASH DETACHMENT AND SURFACE SEALING ON SOILS FROM RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL*

*Splash detachment and its relation to surface sealing was evaluated on seven soils from Rio Grande do Sul State, Brazil, varying in physical, chemical and mineralogical properties. High intensity simulated rainfall (84 to 88mm / h) was applied on soil samples with aggregates smaller than 10mm. Average splash detachment rate was positive and significantly correlated with sand and negative and significantly correlated with aggregate stability, clay, organic carbon, water retention at different matric potentials, amorphous iron oxide, crystalline iron and aluminum oxides. Among the clayey soils, average splash detachment rate tended to be greater for soil with expansive clay minerals. Initial soil water content did not significantly affect splash detachment. For soils with low aggregate stability, splash detachment rates increased until approximately the beginning of runoff, showing afterwards an approximately constant rate, probably as a result of soil surface sealing. For soils with higher aggregate stability, splash detachment apparently was not affected by sealing.*


*Index terms: erosion; surface crust; aggregate stability; water infiltration.*

---

[1] Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia da UFRGS. Trabalho realizado com recursos da FINEP. Recebido para publicação em outubro de 1991 e aprovado em julho de 1992.

[2] Engenheiro-Agrônomo, estudante de doutorado na "Purdue University, National Soil Erosion Research Lab", CEP 47907-1196 West Lafayette (IN), USA.

[3] Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

## INTRODUÇÃO

A desagregação de partículas do solo representa a primeira fase do processo erosivo, sendo proporcional à capacidade desagregadora da chuva e à suscetibilidade do solo à desagregação (Ellison, 1947). A textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com o impacto das gotas de chuva (Moldenhauer & Long, 1964; Mazurak et al., 1975; Ibrahem, 1977; Bradford et al., 1987). Moldenhauer & Long (1964) observaram que o salpico de partículas sob chuva simulada em solo arenoso com dominância de areia fina e em solo argilo-siltoso foi maior que nos solos franco-argilo-siltoso e siltoso. A alta taxa de salpico no solo argilo-siltoso foi explicada pela permanência de agregados estáveis na superfície do solo, ficando estes agregados disponíveis ao transporte por salpico, e devido à presença de argila expansiva, causando o desprendimento de partículas e agregados do corpo do solo.

Ibrahem (1977) observou que a seqüência na taxa de salpico argilo-siltoso > franco-arenoso > franco > franco-argilo-siltoso > franco-siltoso fora válida para três intensidades (30, 70 e 110mm/h) e três durações (20, 30 e 60min) de chuva simulada. Regressões simples entre a taxa de salpico aos 60min de chuva simulada de 62,8mm/h e características físicas de solo, realizadas por Bradford et al. (1987), indicaram que essa taxa foi altamente correlacionada com a porcentagem de areia (r = 0,69) e de silte (r = - 0,81).

A taxa de salpico de partículas aumenta com o tempo durante a chuva até que a superfície esteja saturada e, posteriormente, tende a decrescer com a formação de selo superficial (Ekern, 1950; McIntyre, 1958; Bradford et al., 1987). Segundo McIntyre (1958), as taxas máximas de salpico ocorrem no início do escoamento superficial de água (saturação da superfície), pois a coesão do solo atinge o seu valor mínimo. A intensidade de declínio no salpico varia entre solos (Epstein & Grant, 1967), provavelmente devido a variações na formação de selo superficial. Esses autores, entretanto, não estudaram solos de textura argilosa.

A relação entre a taxa de salpico e o selamento superficial ainda não está devidamente estabelecida. McIntyre (1958) verificou que a taxa de salpico era maior em solos bem estruturados, enquanto o selamento superficial era maior em solos mal estruturados, indicando que, quanto maior o salpico, menor o selamento, e que a formação do selo parece ser função do índice de dispersão de partículas de solo e não da intensidade de salpico. Epstein & Grant (1967), contudo, observaram resultados opostos, mas não apresentaram dados de estabilidade de agregados. Bolline (1978) obteve uma correlação positiva entre a taxa de salpico e a estabilidade de agregados. Isso indica, conforme o autor, que as relações entre as duas variáveis não são universais e dependem do tipo de solo e das condições experimentais, tais como pré-umedecimento, tamanho e estabilidade de agregados em seco, declividade da parcela e intensidade da chuva.

Este estudo tem como objetivo avaliar a desagregação de partículas (salpico) de solo e sua relação com a formação de selo superficial em solos sem cobertura sob chuva simulada de alta intensidade e alta energia cinética.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Caracterização dos solos** - Amostras de agregados menores que 10mm de sete solos do Rio Grande do Sul, com ampla variação de características físicas, químicas e mineralógicas (BRASIL, 1973), foram utilizadas neste estudo. As amostras foram coletadas na camada superficial (0-15cm) de perfis cobertos com vegetação nativa ou pastagem cultivada, principalmente gramíneas. A classificação taxonômica, a unidade de mapeamento e o material de origem acham-se no quadro 1.

As análises físicas constaram da determinação da distribuição de diâmetro de partículas primárias, argila dispersa em água, argila mais silte dispersos em água, estabilidade de agregados em água (DMPa), estabilidade de agregados em seco (DMPs) e retenção de água, usando métodos descritos em Black et al. (1965), bem como estabilidade de agregados sob chuva (DMPc).

Para determinar o DMPc, fracionou-se solo seco ao ar livre em um jogo de quatro peneiras (4,76; 2,00;

**Quadro 1. Classificação taxonômica, unidade de mapeamento e material de origem dos solos estudados**

| Classificação taxonômica | | Unidade de mapeamento | Material de origem |
|---|---|---|---|
| Brasileira[1] | USDA[2] | | |
| Podzólico vermelho-amarelo | Paleudalf | São Pedro | Arenito |
| Podzólico vermelho-escuro álico | Palehumult | Júlio de Castilhos | Basalto |
| Podzólico vermelho-amarelo distrófico | Paleudult | São Jerônimo | Granito |
| Vertissolo | Paleudert | Aceguá | Siltito |
| Latossolo roxo distrófico | Haplorthox | Santo Ângelo | Basalto |
| Latossolo bruno distrófico | Haplohumox | Vacaria | Dacito |
| Brunizém avermelhado | Argiudoll | Ciríaco | Basalto |

[1] BRASIL (1973). [2] USDA (1960).

1,00 e 0,25mm). De cada classe de agregados, com exceção das partículas de solo que passavam pela peneira de 0,25mm de abertura, puseram-se 25g de solo dentro da peneira de diâmetro inferior da classe, sendo cada peneira colocada em um pote de plástico para evitar perdas por salpico de agregados maiores que a abertura de malha da respectiva peneira, por ocasião da chuva simulada, com intensidade de 85mm/h e duração de 10min. Terminada a chuva, procedeu-se a uma leve agitação das peneiras dentro de um recipiente com água, para que somente os agregados e partículas primárias de solo de diâmetro maior do que a abertura da malha da peneira ficassem nela retidos. Esse material foi seco em estufa, determinando-se sua massa. A fração de agregados estáveis sob chuva (após descontadas as partículas unitárias), dentro de cada classe, corresponde à razão entre a massa de agregados retidos na peneira após a chuva e a massa de agregados colocada na peneira antes da chuva (corrigido para a umidade). Os agregados (e partículas unitárias) com diâmetro menor que 0,25mm foram considerados estáveis sob chuva. O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis sob chuva (DMPc) foi calculado pela equação:

$$DMPc = \sum_{i=1}^{5} (D_i * FE_i * R_i)$$

onde:

$i$ = número de classe: $10 > i_1 \geq 4{,}76$ (agregados muito grandes); $4{,}76 > i_2 \geq 2{,}00$ (agregados grandes); $2{,}00 > i_3 \geq 1{,}00$ (agregados médios); $1{,}00 > i_4 \geq 0{,}25$ (agregados pequenos); e $i_5 <$ 0,25mm (agregados muito pequenos);

$D_i$ = diâmetro médio de agregados retidos na peneira de classe i, onde, por exemplo, $D_1$ = 7,14mm e $D_5$ = 0,125mm;

$R_i$ = razão entre a massa de agregados dentro da classe e a massa total de agregados;

$FE_i$ = fração estável sob chuva da classe i.

As análises químicas consistiram na determinação da acidez do solo, carbono orgânico e cátions trocáveis em pH do solo e em pH 7 (Tedesco et al., 1985) e composição química total (Lim & Jackson, 1965).

As análises mineralógicas incluíram a determinação de óxidos de ferro amorfo (Schwertmann, 1964), óxidos de ferro e de alumínio cristalinos (Mehra & Jackson, 1960, e Dick, 1986) e mineralogia da fração argila (Whittig, 1965).

**Condução do ensaio** - As amostras de solo foram acondicionadas em caixas metálicas quadradas, com 100cm de lado, 10cm de profundidade e uma área central de teste, também quadrada, de 60cm de lado. A declividade das caixas foi mantida em 9%. O acondicionamento das amostras foi efetuado em camadas sem que houvesse compactação, sendo a camada superficial mantida com mínima rugosidade e com distribuição de tamanho de agregados o mais uniforme possível.

As partículas salpicadas eram coletadas em uma calha de 18cm de lado e 50cm de comprimento, presa à borda de cada caixa, a cada quatro minutos, em recipientes colocados sob o dreno da calha coletora de salpico, aplicando-se jatos de água. Posteriormente, eram transferidas para recipientes metálicos, juntando-se o conteúdo de vários recipientes, para secagem em estufa. As perdas por salpico foram expressas em massa de partículas salpicadas por unidade de tempo (g/h), para os intervalos de tempo considerados, e taxa média de salpico, isto é, massa total de partículas salpicadas durante a chuva dividida pela duração da chuva.

Após a drenagem dos solos, coletaram-se amostras de selo superficial para determinação dos teores de argila, silte e areia, pelo método do hidrômetro (Day, 1965), e da densidade da crosta (selo seco) e do solo imediatamente abaixo da crosta, pelo método do torrão impregnado com resina (Blake, 1965).

Para a aplicação das chuvas, utilizou-se um simulador de chuvas semelhante ao desenvolvido por Meyer & Harmon (1979). O bico do simulador, Veejet 80-150, ficava a 3,1m da superfície do solo, o suficiente para atingir velocidade próxima à terminal de queda das gotas, operando o simulador com pressão constante de saída no bico de 41N/m$^2$. Nessas condições, conforme os autores acima, o bico fornece uma energia de impacto das gotas de chuva de 275kJ/ha.mm, o que equivale a 100% da energia de impacto de uma chuva natural de intensidade semelhante à simulada (84 a 88mm/h, no presente estudo) e com distribuição de diâmetro de gotas semelhante à de uma chuva natural de 26 a 51mm/h.

Aplicaram-se duas séries de chuva simulada, com duas repetições em cada série. Na primeira, denominada A, as chuvas foram aplicadas diretamente sobre solo seco ao ar e descoberto. Na segunda, série B, as chuvas também foram aplicadas sobre solo descoberto, mas pré-umedecido por 30min de chuva. Durante o pré-umedecimento, os solos eram cobertos por duas telas com 1mm de abertura de malha, ocorrendo mínima alteração dos agregados da superfície, pois sobre eles não houve impacto das gotas de chuva. Aplicaram-se as chuvas até que o solo atingisse taxa constante de escoamento de água, sendo a duração da chuva, portanto, diferente para cada solo e umidade inicial (Reichert, 1988).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Salpico de partículas e características de solo

Pelos dados do quadro 2, verifica-se que o solo podzólico vermelho-amarelo apresentou a maior taxa média de salpico, enquanto a menor coube ao brunizém avermelhado, que não diferiu significativamente do latossolo bruno distrófico, latossolo roxo distrófico e vertissolo. Embora não tenha havido diferença significativa (Duncan 5%), a taxa média de salpico ten-

deu a apresentar valores maiores em solo seco ao ar livre (série A de chuvas), em relação ao pré-umedecido (série B). Ibrahem (1977) obteve resultados semelhantes trabalhando com amostras de agregados de 2mm, atribuindo a menor taxa de salpico em solo úmido à tensão exercida pela água capilar, mantendo as partículas de solo unidas. Em amostras de solo seco, a chuva atinge a superfície sem que haja inicialmente água capilar para manter unidas as partículas de solo.

**Quadro 2. Taxa média de salpico de partículas de solos submetidos a duas séries de chuvas simuladas**

| Solo | Série | Taxa média de salpico |
|---|---|---|
| | | g/h |
| Podzólico vermelho-amarelo | A[1] | 40,0a |
| | B[2] | 39,2a |
| Podzólico vermelho-escuro álico | A | 28,4b |
| | B | 23,2bc |
| Podzólico vermelho-amarelo distrófico | A | 25,4bc |
| | B | 20,8c |
| Vertissolo | A | 5,5d |
| | B | 5,0d |
| Latossolo bruno distrófico | A | 5,4d |
| | B | 3,6d |
| Latossolo roxo distrófico | A | 2,6d |
| | B | 2,1d |
| Brunizém avermelhado | A | 1,1d |
| | B | 0,7d |

[1] Solo seco ao ar livre. [2] Solo pré-umedecido.
Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Os coeficientes de correlação (Quadro 3) demonstram que a taxa média de salpico foi significativamente correlacionada, de forma negativa, com os vários índices de estabilidade de agregados (DMPa, DMPc e DMPs), argila, carbono orgânico, retenção de água a altos e a baixos potenciais matriciais, óxido de ferro amorfo e óxidos de ferro e alumínio cristalinos, e de forma positiva com areia.

Osborne (1954) e Ibrahem (1977), contrariamente ao obtido no presente trabalho, observaram que a taxa de salpico foi maior nos solos de textura média, em relação aos de textura fina (argilosos) ou grosseira (arenosos). Entretanto, os dados aqui obtidos estão de acordo com os de Bradford et al. (1987), que observaram uma redução na taxa de salpico com o aumento do teor de argila ou de silte e um aumento nessa taxa com o aumento do teor de areia. A maior taxa média de salpico observada nos solos de textura franco-argilo-arenosa (podzólico vermelho-escuro álico) e franco-arenosa (podzólico vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo distrófico) decorreu, possivelmente, da sua baixa estabilidade de agregados (DMPa e DMPc) destes solos (Reichert, 1988). Luk (1979) e Bradford et al. (1987) também verificaram que a taxa de salpico se correlacionou negativamente com a estabilidade de agregados (DMPa). Estes estudos possivelmente superestimam a importância da distribuição de tamanho de partículas de solo no salpico, não considerando a mineralogia do solo, particularmente da fração argila. Além disso, Bolline (1978) destaca que as relações entre o salpico e a textura do solo não são universais, pois dependem das condições do experimento, tais como pré-umedecimento, tamanho e estabilidade de agregados em seco, declividade da parcela e intensidade da chuva.

A taxa média de salpico obtida por Reichert (1988) foi positiva e significativamente correlacionada com a razão de agregados pequenos (0,25 a 1,00mm) e muito pequenos (< 0,25mm) e negativamente com a razão de agregados médios (1,00 a 2,00mm) e grandes (2,00 a 4,76mm), evidenciando que a superfície de um solo com agregados pulverizados é mais suscetível ao transporte por salpico.

Uma comparação entre os quatro solos com alto teor de argila (latossolo bruno distrófico, latossolo roxo distrófico, vertissolo e brunizém avermelhado) permite verificar que, embora não houvesse diferença significativa (Quadro 2), o vertissolo tendeu a apresentar a maior taxa média de salpico, devido, provavelmente, à expansão de argilas 2:1 (esmectita) durante a chuva, permitindo o desprendimento de partículas de solo. Por outro lado, o brunizém avermelhado tendeu a apresentar a menor taxa de salpico. Este solo apresentou a maior estabilidade de agregados sob chuva (DMPc), decorrente, possivelmente, dos altos teores de carbono orgânico e de argila, apesar do também alto teor de silte (40%). A fração silte pode, em certos solos, apresentar considerável quantidade de cargas negativas e propiciar a agregação do solo. Neste sentido, Ibrahem (1977) observou experimentalmente que a menor taxa de salpico ocorreu em solo franco-siltoso, em relação ao mais argilosos, atribuindo este comportamento à alta coesividade das partículas de silte naquele solo, evidenciada pela existência de alta capacidade de troca de cátions na fração silte.

## Salpico de partículas e formação de selo superficial

O comportamento das taxas de salpico durante as duas séries (em solo seco e em solo pré-umedecido) de chuvas simuladas foi semelhante (Reichert, 1988).

Os solos que apresentaram maior taxa média de salpico (podzólico vermelho-amarelo, podzólico vermelho-escuro álico e podzólico vermelho-amarelo distrófico) apresentaram, no trabalho de Reichert (1988), menores tempos de empoçamento, de início de escoamento e de escoamento até início de taxa constante de infiltração de água. Isto decorreu, provavelmente, da maior fração de agregados pequenos e muito pequenos nos solos que apresentaram maior taxa de salpico. Agregados pequenos, independentemente de sua es-

tabilidade estrutural, reduzem o tempo de início de escoamento e aumentam o selamento superficial (Braunack & Dexter, 1988). Entretanto, segundo Reichert (1988), a correlação entre a taxa média de salpico e a taxa constante de infiltração foi próxima a zero. Tais constatações indicam que, em solos diferentes, a taxa de salpico afeta a taxa de formação de selo superficial, mas, possivelmente, não afete a condutividade hidráulica desse selo.

As taxas de salpico nos solos de textura franco-argilo-arenosa (podzólico vermelho-escuro álico) e franco-arenosa (podzólico vermelho-amarelo e podzólico vemelho-amarelo distrófico) (Figura 1) aumentaram até aproximadamente o início de escoamento de água, respectivamente, aos 29, 17 e 36min, na série B de chuvas. Posteriormente, no podzólico vermelho-amarelo ocorreu uma lenta redução, até atingir uma taxa quase constante, enquanto nos outros dois solos a taxa aproximadamente constante foi atingida logo após o início de escoamento.

Conforme McIntyre (1958), a variação na taxa de salpico indica a ocorrência de quatro processos sucessivos: (1) rápido umedecimento da superfície do solo, reduzindo a coesão entre as partículas e aumentando as taxas de salpico; (2) formação do selo, reduzindo o salpico e provocando acúmulo de água sobre a superfície do solo; (3) remoção da camada superficial do selo pela turbulência da água, aumentando a condutividade hidráulica da superfície; (4) drenagem da lâmina de água retida na superfície, reduzindo a dissipação da energia de impacto das gotas de chuva e aumentando novamente a taxa de salpico. Contudo, devido ao transporte de partículas finas pela água de infiltração, obstruindo os poros, há um decréscimo na condutividade da superfície, até que a remoção da camada superficial do selo seja insuficiente para au-

**Quadro 3. Coeficientes de correlação (r) entre a taxa média de salpico e características ou parâmetros dos solos estudados**

| Característica ou parâmetro físico | Coeficiente de correlação | Característica química | Coeficiente de correlação |
|---|---|---|---|
| **Fração textural** | | **Complexo de troca** | |
| Argila | -0,88 | $Ca^{2+}$ | -0,54 |
| Silte | -0,52 | $Mg^{2+}$ | -0,54 |
| Areia | 0,92 | $K^{+}$ | -0,58 |
| Areia muito grossa | 0,20 | $Mn^{2+}$ | -0,45 |
| Areia grossa | 0,68 | $Al^{3+}$ | -0,29 |
| Areia média | 0,96 | Soma de bases trocáveis | -0,55 |
| Areia fina | 0,91 | CTC | -0,59 |
| Areia muito fina | 0,56 | $Al^{3+} + H^{+}$ | -0,24 |
| Argila dispersa em água | -0,87 | T | -0,59 |
| Argila + silte dispersos em água | -0,68 | | |
| | | **Elemento** | |
| | | Si | 0,72 |
| | | Al | -0,93 |
| **Umidade gravimétrica retida nos potenciais matriciais (kPa)** | | Fe | -0,76 |
| | | Ca | -0,55 |
| | | Mg | -0,56 |
| -6 | -0,70 | K | -0,12 |
| -10 | -0,81 | C orgânico | -0,75 |
| -30 | -0,89 | | |
| -100 | -0,89 | | |
| -300 | -0,90 | **Óxidos de ferro extraídos por** | |
| -900 | -0,93 | | |
| -1500 | -0,94 | Oxalato de amônio | -0,78 |
| | | HCl 6N | -0,76 |
| **Índice de agregação** | | CDB | -0,73 |
| | | **Óxidos de alumínio extraídos por** | |
| DMPs | -0,79 | | |
| DMPa | -0,76 | | |
| DMPc | -0,95 | HCl 6N | -0,83 |
| | | CDB | -0,62 |

$r > 0,87$ é significativo ao nível de 1%; $r > 0,75$ é significativo ao nível de 5%.

mentar consideravelmente a infiltração de água. Nesse momento, conforme o autor, a taxa de salpico permanecerá constante.

Os solos mais argilosos (latossolo bruno distrófico, latossolo roxo distrófico, vertissolo e brunizém avermelhado), todavia, apresentaram um comportamento distinto. Observa-se que as taxas de salpico se mantiveram praticamente constantes até o início de escoamento aos 252, 294 e 668min, respectivamente, nos solos latossolo roxo distrófico (Figura 1), latossolo bruno distrófico e brunizém avermelhado, todos com predominância de argila caulinítica e alto teor de óxidos de ferro e de alumínio, ou com um leve incremento nessas taxas até o início de escoamento, aos 108min, no vertissolo (Figura 1), com predominância de argila esmectítica, para a série B de chuvas simuladas. Após esse intervalo, todos os solos mais argilosos tiveram um aumento aproximadamente linear, sem demonstrar evidências de redução na taxa de salpico com a formação de selo superficial.

A manutenção de altas taxas de salpico após a saturação da superfície, mesmo após atingir a taxa constante de infiltração de água, resultou da presença de agregados grandes e relativamente estáveis na superfície, ficando disponíveis à desagregação pelo impacto das gotas de chuva. No vertissolo, somou-se

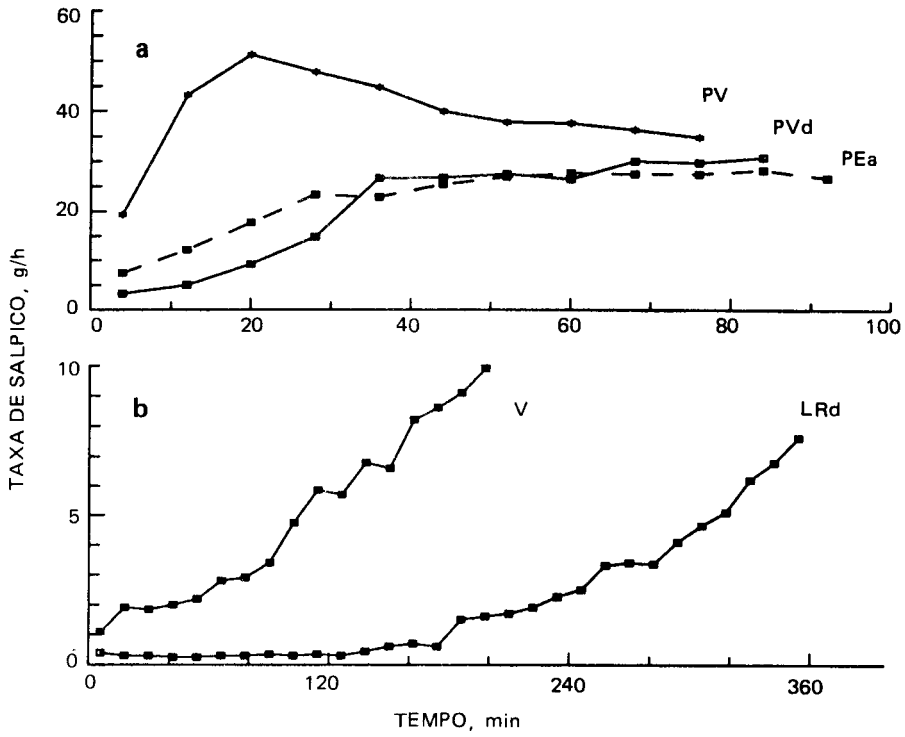


**Figura 1. Taxas de salpico de partículas dos solos: (a) podzólico vermelho-amarelo (PV), podzólico vermelho-amarelo distrófico (PVd) e podzólico vermelho-escuro álico (PEa), e (b) vertissolo (V) e latossolo roxo distrófico (LRd) submetidos à série B (solo pré-umedecido) de chuvas simuladas.**

**Quadro 4. Carbono orgânico, argila, silte, areia e densidade do solo e do selo formado em solo seco ao ar livre (série A de chuvas simuladas)**

| Solo | C orgânico | | Argila | | Silte | | Areia | | Densidade[1] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Solo | Selo | Solo | Selo | Solo | Selo | Solo | Selo | Solo | Selo |
| | % | | | | | | | | g/cm$^3$ | |
| Podzólico vermelho-amarelo | 1,46 | 1,30 | 13,7 | 10,7 | 20,3 | 23,3 | 66,7 | 66,0 | 1,82 | 2,18 |
| Podzólico vermelho-escuro álico | 1,64 | 1,61 | 29,7 | 25,1 | 22,1 | 23,4 | 48,2 | 51,5 | 1,59 | 2,08 |
| Podzólico vermelho-amarelo distrófico | 1,40 | 1,35 | 16,0 | 11,6 | 16,7 | 18,0 | 67,3 | 70,4 | 1,62 | 2,05 |
| Vertissolo | 4,34 | 3,94 | 50,0 | 40,2 | 35,0 | 39,0 | 15,0 | 18,8 | 1,60 | 1,80 |
| Latossolo roxo distrófico | 1,91 | 1,89 | 55,0 | 53,0 | 24,0 | 22,0 | 21,0 | 25,0 | 1,72 | 2,10 |
| Latossolo bruno distrófico | 3,36 | 3,34 | 58,1 | 49,6 | 17,9 | 20,5 | 24,0 | 29,9 | 1,68 | 2,00 |
| Brunizém avermelhado | 3,39 | 3,40 | 40,1 | 35,2 | 48,9 | 40,0 | 11,0 | 24,8 | 1,36 | 1,82 |

[1] Método do torrão.

o efeito da expansão de argilas, facilitando o desprendimento de partículas de solo.

**Características do selo superficial**

Amostras do selo superficial, após secagem ao ar livre (crosta), apresentaram uma morfologia típica (observação visual): uma camada superficial fina, lisa e compacta e uma subcamada de aparente reduzida porosidade. Nos solos com maior estabilidade de agregados, a camada superficial mostrava agregados parcialmente destruídos. Sob o selo, o solo apresentava-se poroso e com agregados inalterados, ficando protegidos do impacto das gotas de chuva pela presença do selo.

As crostas de solos com alto teor de argila aliado ao menor teor de carbono orgânico e à maior dispersão de partículas (latossolo roxo distrófico) devido à calagem e parcial remoldamento durante transporte (Reichert, 1988) ou com predominância de argila expansiva (vertissolo) apresentavam-se, após secos ao ar livre, mais fortemente cimentados do que selos formados em solos com alto teor de argila aliado a alto teor de carbono orgânico e menor dispersão de partículas (latossolo bruno distrófico e brunizém avermelhado). Os solos com maior teor de areia tiveram selos fracamente cimentados. Os selos de todos os solos mais argilosos mostraram fendilhamento, devido à contração de argilas, sendo mais acentuado no vertissolo.

A densidade da crosta (selo seco ao ar livre) com espessura de 3mm, para a série A de chuvas, variou de 1,80g/cm$^3$, no vertissolo, a 2,18g/cm$^3$, no podzólico vermelho-amarelo, e a densidade abaixo do selo foi de 1,60 e 1,82g/cm$^3$, respectivamente, para estes solos (Quadro 4). Eigel & Moore (1983) observaram que a densidade aumentou de 1,33g/cm$^3$ no solo original para 1,89g/cm$^3$ no selo superficial. A alta densidade do selo resulta da compactação da superfície pelo impacto das gotas de chuva, com preenchimento dos poros com partículas finas (McIntyre, 1958); isso, aliado à consolidação do solo devido ao umedecimento e posterior secagem (Onstad et al., 1984).

Os teores de argila e carbono orgânico foram menores no selo do que no solo original (Quadro 4). As partículas finas e a matéria orgânica são levadas em suspensão pelo escoamento superficial de água, remanescendo o material mais grosseiro e denso na superfície (Epstein & Grant, 1973).

## CONCLUSÕES

1. A taxa média de salpico foi negativamente correlacionada com a estabilidade dos agregados (DMPa e DMPc) na superfície. A presença de argila expansiva em solo argiloso pode aumentar a taxa média de salpico. A umidade antecedente do solo não afetou significativamente a taxa média de salpico.

2. As taxas de salpico durante a chuva, nos solos com baixa estabilidade de agregados, aumentaram até aproximadamente o início de escoamento, atingindo uma taxa aproximadamente constante, com a formação de selo superficial. Contudo, este comportamento não foi observado nos solos com alta estabilidade de agregados.

3. Os selos apresentaram menor teor de argila e carbono orgânico e maior teor de areia e densidade em relação ao solo da camada abaixo não afetado pelo selamento.

## AGRADECIMENTO

A Flávio Luiz Foletto Eltz, pela revisão de aproximações deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

BLACK, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, 770p.

BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.374-390.

BOLLINE, A. Study of the importance of splash and wash on cultivated loamy soils of Herbaye (Belgium). Earth Surf. Processes, Chichester, 3:71-84, 1978.

BRADFORD, J.M.; FERRIS, J.E. & REMLEY, P.A. Interill soil erosion processes: II. Relationship of splash detachment to soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 51:1571-1575, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30)

BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. The effect of aggregate size in the seedbed on surface crusting and growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*, cv. Halbord) under dryland conditions. Soil Til. Res., Amsterdam, 11:133-145, 1988.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.545-567.

DICK, D.P. Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1986. 196p. (Dissertação de Mestrado)

EIGEL, J.D. & MOORE, I.D. Effect of rainfall energy on infiltration into a bare soil. In: Advances in infiltration. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.188-200.

EKERN, P.C. Raindrop impact as a force initiating soil erosion. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 15:7-10, 1950.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies: Part I. Agric. Eng., St. Joseph, 28:145-146, 1947.

EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 31:547-550, 1967.

EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. Soil crust formation as affected by raindrop impact. In: HADAS, A. et al., eds. Physical aspects of soil and salts in ecosystems. New York, Springer-Verlag, 1973. p.195-201.

IBRAHEM, E.N. Detachment of soil particles and characteristics of soil crusts in a simulated rainfall. Lincoln, University of Nebraska, 1977. 231p. (Thesis Ph.D.)

LIM, C.H. & JACKSON, M.L. Dissolution for total elemental analysis. In: BLACK, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.1-12.

LUK, S.H. Effect of soil properties on erosion by wash and splash. Earth Surf. Processes, Chichester, 4:241-255, 1979.

MAZURAK, A.P.; CHESNIN, L. & TIARKS, A. Detachment of soil aggregates by simulated rainfall from heavily manured soils in Eastern Nebraska. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 39:732-736, 1975.

McINTYRE, D.S. Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Sci., Baltimore, 85:261-266, 1958.

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner., Ottawa, 7:317-327, 1960.

MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 22:100-103, 1979.

MOLDENHAUER, W.C. & LONG, D.C. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: I. Effect over a range of texture. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 32:875-879, 1964.

ONSTAD, C.A.; WOLFE, M.L.; LARSON, C.L. & SLACK, D.C. Tilled soil subsidence during repeated wetting. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 27:733-736, 1984.

OSBORNE, B. Soil splash by raindrop impact. J. Soil Water Conserv., Ankeny, 9:33-38, 1954.

REICHERT, J.M. Formação de selo superficial e infiltração de água sob chuva simulada em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1988. 165p. (Dissertação de Mestrado)

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxyde des Bodens Durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde, Weinheim, 105:194-202, 1964.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1985. (Boletim técnico, 5)

USDA. Department of Agriculture. Soil Survey Staff. Soil classification: a comprehensive system. 7th approximation. Washington, Soil Conservation Service, 1960. 265p.

WHITTIG, L.D. X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition: In: BLACK, C.A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.674-698.