



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



**Erodibilidade em entressulcos e encrostamento superficial em Solos do Semiárido
sob aplicação de gesso agrícola**

José Flávio Cardoso Zuza

AREIA-PB
FEVEREIRO – 2019

JOSÉ FLÁVIO CARDOSO ZUZA

**ERODIBILIDADE EM ENTRESSULCOS E ENCROSTAMENTO
SUPERFICIAL EM SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB APLICAÇÃO DE GESSO
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais.

Orientador: Prof. Djail Santos, PhD

Coorientador: Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

AREIA-PB

FEVEREIRO – 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Z96e Zuza, José Flávio Cardoso.
Erodibilidade em entressulcos e encrostamento superficial em solos do Semiárido sob aplicação de gesso agrícola / José Flávio Cardoso Zuza. - Areia, 2019.

62 f. : il.

Orientação: Djail Santos.

Coorientação: Flávio Pereira de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Erosão hídrica. 2. Chuva simulada. 3. Desagregação de partículas. 4. Luvissole Crômico Órtico. 5. Neossolo Litólico. I. Santos, Djail. II. Oliveira, Flávio Pereira de. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

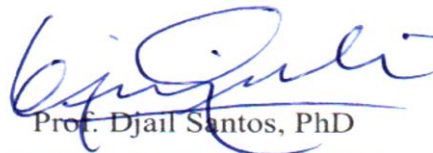
JOSÉ FLÁVIO CARDOSO ZUZA

**ERODIBILIDADE EM ENTRESSULCOS E ENCROSTAMENTO
SUPERFICIAL EM SOLOS DO SEMIÁRIDO SOB APLICAÇÃO DE GESSO
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais.

Aprovada em: _____ de _____ de 2018

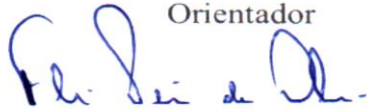
BANCA EXAMINADORA



Prof. Djail Santos, PhD

PPGCS/ DSER/CCA/UFPB

Orientador



Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

PPGCS/ DSER/CCA/UFPB

Coorientador



Prof. Manoel Alexandre Diniz Neto, Dr.

DA/CCHSA/UFPB

Membro Externo



Prof. Raphael Moreira Beirigo, Dr.

PPGCS/DSER/CCA/UFPB

Membro Interno

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antônio Cardoso Soares e Maria Auxiliadora Zuza por todo amor, dedicação e generosidade em todos os momentos desta longa e árdua caminhada.

Aos meus irmãos Josivaldo Cardoso Zuza, Marilene Cardoso Zuza, Valdeci Cardoso Zuza, Josivan Cardoso Zuza, Marivalda Cardoso Zuza, Maria Leidejane Cardoso Zuza, Maria Celia Cardoso Zuza e Maria de Fátima Cardoso Zuza, bem como muitas outras pessoas que contribuíram para a realização deste sonho, a vocês dedico minha gratidão e reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por existir e dar forças para concluir este curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, mostrando-me a ter sabedoria e paciência em muitos momentos de dificuldades e alegrias, sempre atendendo aos meus anseios e preces.

A minha família que sempre se faz presente em todos os momentos da minha vida, contribuindo para formação moral e ética. Aos meus pais que sempre se esforçaram para construir uma bela família e dela se retirarem os seus melhores frutos, e aos meus irmãos todo meu respeito e gratidão.

Ao professor Dr. Djail Santos, pela orientação, amizade, paciência, assim como toda experiência compartilhada no estágio de docência, sempre presente transmitindo seus conhecimentos durante toda essa trajetória acadêmica.

Ao meu coorientador professor Dr. Flávio Perreira de Oliveira, pelas palavras de incentivo e apoio em alguns momentos de dificuldades, além disso, pelo espaço cedido junto ao Laboratório de Física do solo.

Ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, pela utilização dos Laboratórios de Física do Solo e Química do solo. É aos funcionários do Departamento de Solos, Roberval, Cicero, Marielza por todo apoio e incentivo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo que foi determinante e indispensável para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas de experimento que contribuíram para a realização deste trabalho: Edinaldo, Danilo, Karla, Joaquim e Rodolpho José, que tanto me auxiliaram na condução de todas as etapas do experimento. Também ao Dr. Tancredo Augusto Feitosa de Souza por suas contribuições ao longo da condução dessa pesquisa.

Agradeço especialmente a Ana Carolina Bezerra por todo apoio, dedicação, conselhos e amizade. Sem você esse sonho não seria o mesmo, e junto a todos os momentos de dificuldade sempre me impulsionou para o crescimento como ser humano.

A minha namorada Enedina Montenegro, que sempre se fez presente com palavras de incentivo, além do amor e carinho que sempre me proporcionou quando necessitava.

Aos colegas da Pós-Graduação em Ciência do Solo, Marco Aurélio, Victor Brandão, Denisvaldo, Anne Caroline, Sonnaria, Fernando Julião, Joaquim, Leovanio, Raimundo, Cássio, Maria Idaline, Felipe, Bruno Soares e Ailson Marques, agradeço a todos pelos bons momentos de convívio, aprendizagem e amizade estabelecida.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Hipóteses.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Geral.....	3
1.2.2 Específicos.....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Erodibilidade.....	4
2.2 Encrostamento Superficial.....	5
2.3 Gênese e Morfologia do Luvissole Crômico Órtico.....	7
2.4 Gênese e Morfologia do Neossolo Litólico.....	8
2.5 Processos de Erosão Hídrica.....	10
2.6 Erosão em Entressulcos.....	12
2.7 Gesso Agrícola.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Seleção dos solos.....	14
3.2 Coletas dos solos.....	15
3.3 Instalações das arcelas e aplicação de chuvas simuladas.....	16
3.4 Caracterização dos atributos dos químicos dos solos.....	18
3.5 Caracterização dos atributos dos físicos dos solos.....	18
3.6 Caracterizações das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos.....	20
3.7 Determinações das perdas de solo e água.....	21
3.8 Cálculos das perdas totais de solo em entressulcos.....	22
3.9 Estimativa do encrostamento superficial do solo.....	23
3.10 Determinação da textura de crostas superficiais pelo método da micropipeta.....	23
3.11 Estabilidade de agregados dos solos.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Características das variáveis hidráulicas do	27

escoamento.....	
4.2 Taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (D _i).....	30
4.3 Perdas totais de solo em entressulcos (PS _i).....	32
4.4 Erodibilidade (K _i).....	34
4.5 Concentração de sedimentos em suspensão.....	36
4.6 Taxa de desagregação (D _i) e rugosidade superficial (n).....	38
4.7 Estimativa do encrostamento superficial pela avaliação da resistência à penetração.....	42
4.8 Textura de crostas superficiais.....	45
4.9 Estabilidade de agregados.....	47
5 CONCLUSÕES.....	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE TABELAS**Página**

Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos de Luvissole Crômico Órtico e Neossolo Litólico com e sem aplicação de gesso agrícola.....	18
Tabela 2. Caracterização dos atributos físicos de Luvissole Crômico Órtico e Neossolo Litólico com e sem aplicação de gesso agrícola.....	19
Tabela 3. Caracterização das variáveis hidráulicas, obtidas em testes de chuva simulada sem e com aplicação de gesso agrícola utilizando Luvissole Crômico Órtico e Neossolo Litólico do semiárido paraibano.....	28
Tabela 4. Avaliação do encrostamento superficial em duas classes de solos determinado pelo método de resistência do solo ao penetrômetro antes e após diferentes testes de chuvas simuladas.....	43
Tabela 5. Diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos via peneiragem seca (DMPAs) e úmida (DMPAu) e índice de estabilidade de agregados em água (IEA) para o TCo e RLe com e sem aplicação de gesso agrícola sob condições de chuva simulada.....	48

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Dados de pluviosidade (2018) nos locais onde foram realizadas as coletas dos solos.....	15
Figura 2. Perfis dos solos estudados.(A) Luvisolos Crômico Órtico, (B) Neossolo Litólico.....	16
Figura 3. Etapas para confecção da parcela experimental. (A) estrutura da parcela; (B) parcela com 3cm de brita; (C) parcela coberta com tela de malha; (D) parcela com 1cm de areia;(E) parcela montada; (F) sistema de saturação da parcela; (G) parcela saturada;(H) sistema de bombeamento; (I) bico aspersor tipo Vee-Jet; (J) chuva simulada.....	17
Figura 4. Estimativa do encrostamento superficial do solo através da resistência à penetração. (A) Penetrômetro de Bolso; (B) Medição da resistência dos solos.....	23
Figura 5. Procedimentos para realização textura pelo método da micropipeta. (A) Coleta das crostas na superfície em blocos; (B) pesagem; (C) adição de dispersante e sedimentação; (D) coleta de alíquota da supressão.....	25
Figura 6. Triângulo de classificação textural de solos segundo Santos et al (2005).....	26
Figura 7. Taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (Di), para os testes realizados com Luvisolo Crômico Órtico em condições de laboratório. (A). TCo sem aplicação de gesso agrícola; (B). TCo Com aplicação de gesso agrícola; (C). RLe sem aplicação de gesso agrícola; (D). RL com aplicação de gesso agrícola.....	30
Figura 8. Perdas totais de solo entressulcos (PSi), para os teste realizados com Luvisolo Crômico Órtico em condições de laboratório. (A). TCo sem aplicação de gesso agrícola; (B). TCo Com aplicação de gesso agrícola; (C). RL sem aplicação de gesso agrícola; (D). RL com aplicação de gesso agrícola.....	33
Figura 9. Erodibilidade de solos em entressulcos (Ki), para Luvisolo Crômico Órtico (A) e Neossolo Litólico (B), sem aplicação de gesso agrícola (SG) e com aplicação de gesso agrícola.....	35

- (CG).....
- Figura 10.** Distribuição temporal do escoamento superficial e concentração de sedimento em suspensão em Luvissole Crômico Órtico com e sem aplicação de Gesso agrícola em diferentes testes de chuva sob condições de laboratório. (A). TCo sem aplicação de gesso agrícola; (B). TCo Com aplicação de gesso agrícola; (C). RL sem aplicação de gesso agrícola; (D). RL com aplicação de gesso agrícola..... 36
- Figura 11.** Distribuição temporal da taxa de desagregação (Di) e rugosidade superficial (n) avaliado para Luvissole Crômico Órtico (TCo) com e sem aplicação de Gesso agrícola em diferentes testes de chuva sob condições de laboratório. Teste 1 (TCo) – sem aplicação de gesso (A), com aplicação de gesso agrícola (B); Teste 2 (TCo) – sem aplicação de gesso (C), com aplicação de gesso agrícola (D); Teste 3 (TCo)– sem aplicação de gesso (E), com aplicação de gesso agrícola (F); Teste 4 (TCo) – sem aplicação de gesso (G), com aplicação de gesso agrícola (H)..... 39
- Figura 12.** Distribuição temporal da taxa de desagregação (Di) e rugosidade superficial (n) avaliado para Neossolo Litólico (RL). Teste 1 (RL) – sem aplicação de gesso (A), com aplicação de gesso agrícola (B); Teste 2 (RL) – sem aplicação de gesso (C), com aplicação de gesso agrícola (D); Teste 3 (RL)– sem aplicação de gesso (E), com aplicação de gesso agrícola (F); Teste 4 (RL) – sem aplicação de gesso (G), com aplicação de gesso agrícola (H)..... 40
- Figura 13.** Vista da superfície de um Luvissole Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico (RL) com e sem aplicação de gesso em diferentes testes de chuva simulada..... 42
- Figura 14.** Classificação da textura de crostas pelo método da Micropipeta e da Pipeta. (A) TCo-C= Luvissole Crômico Órtico (Campo); TCo-SG= Luvissole Crômico Órtico (Sem gesso); TCo-CG= Luvissole Crômico Órtico (Com gesso); (B) RL-C=Neossolo Litólico (Campo); RL-SG=Neossolo Litólico (Sem gesso); RL-CG=Neossolo Litólico (Com gesso), determinados pelo triângulo textural segundo Santos et al. (2005), utilizando o software TAL (2008)..... 46
- Figura 15.** Crostas formadas após diferentes testes de chuva em duas classes de

solo representativas do estado da Paraíba. A (Luvissole Crômico Órtico), B (Neossolo Litólico Eutrófico).....	47
--	----

LISTA DE SIGLAS

Equação Universal de Perdas de Solo - **(EUPS)**
Erosividade da chuva - **(R)**
Erodibilidade - **(K)**
Comprimento de rampa - **(L)**
Declividade de rampa - **(S)**
Cobertura vegetal - **(C)**
Práticas conservacionistas - **(P)**
Neossolo Litólico - **(RL)**
Luvissole Crômico Órtico - **(TCO)**
Densidade de empacotamento - **(Dep)**
Viscosidade cinemática - **(v)**
Velocidade superficial do escoamento - **(Vs)**
Velocidades médias do escoamento - **(Vm)**
Descarga líquida por unidade de largura - **(q)**
Coeficiente de rugosidade de Manning - **(n)**
Número de Reynolds - **(Re)**
Número de Froude - **(Fr)**
Tensão cisalhante do escoamento - **(τ)**
Taxa de desagregação do solo em entressulcos - **(Di)**
Perda total de solo entressulcos - **(PSi)**
Resistência a penetração – **(RP)**

RESUMO

ZUZA, JOSÉ FLÁVIO CARDOSO. **Erodibilidade em entressulcos e encrostamento superficial em solos do semiárido sob aplicação de gesso agrícola.** Areia-PB, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Fevereiro de 2019. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Orientador: Prof. Dr. Djail Santos, PhD.

Solos no mundo apresentam problemas de erosão hídrica em decorrência do impacto da gota da chuva na superfície do solo, agravando o encrostamento superficial e erodibilidade dos solos. Contudo, o gesso agrícola atua como redutor do encrostamento superficial, por promover a flocculação das argilas, aumentar a estabilidade de agregados e reduzir a dispersão. Objetivou-se avaliar a erodibilidade em entressulcos e encrostamento superficial em solos do semiárido sob aplicação de gesso agrícola. Por meio de testes de chuva simulada foi realizado experimentos para medir a erosão em entressulcos, em condições de solo descoberto com e sem aplicação de gesso agrícola. A parcela experimental possui área útil de 0,3481m² e declividade de 0,10 mm⁻¹. As chuvas foram simuladas com intervalos de 0, 7, 14, 21 dias, com intensidade média ajustada de 85 mm h⁻¹ durante 75 minutos. Foram avaliadas as variáveis hidráulicas do escoamento, a taxa de desagregação, as perdas totais de solo, a erodibilidade, sedimentos em suspensão, a rugosidade superficial, o encrostamento superficial, a microtextura das crostas e estabilidade de agregados. Os solos apresentaram regime laminar e escoamento subcrítico, caracterizando a formação de erosão em entressulco. As maiores taxas de desagregação, perdas de solos e sedimentos em suspensão no TCo e RLe ocorreram no teste 1, devido ao impacto direto da gota da chuva, e características intrínsecas de cada solo. A erodibilidade foi reduzida quando se aplicou gesso agrícola, devido ao efeito flocculante da interação entre os colóides do RLe apresentar maior susceptibilidade ao encrostamento superficial, influenciando em todas as outras propriedades nesse estudo. A ocorrência de um maior número de chuva simulada aumentaria os valores de rugosidade, alterando as variáveis hidráulicas do escoamento no sentido de diminuir o transporte de sedimentos.

Palavras-chave: Erosão hídrica, chuva simulada, desagregação de partículas, Luvisolo Crômico Órtico, Neossolo Litólico.

ABSTRACT

ZUZA, JOSÉ FLÁVIO CARDOSO. **Surface crusting and erodibility in entresulcos in response to application of agricultural gypsum in semi-arid soils of Paraíba.** Areia-PB, Center for Agrarian Sciences, Federal University of Paraíba, February 2019, Dissertation, Postgraduate Program of Soil Science, Advisor: Djail Santos, PhD.

Soils in the world present problems of water erosion due to the impact of the rain drop on the soil surface, aggravating the superficial crusting and erodibility of the soils. However, agricultural gypsum acts as a reducer of surface crusting, by promoting the flocculation of clays, increasing the stability of aggregates and reducing dispersion. The objective of this study was to evaluate the erodibility of entresulcos and superficial crusting in semi-arid soils under the application of agricultural gypsum. By means of simulated rainfall tests, experiments were carried out to measure the erosion of entresulcos, under open soil conditions with and without the application of agricultural gypsum. The experimental plot has a useful area of 0,3481m² and a slope of 0.10 mm⁻¹. The rains were simulated at intervals of 0, 7, 14, 21 days, with mean intensity of 85 mm h⁻¹ for 75 minutes. Hydraulic flow variables, disintegration rate, total soil losses, erodibility, suspended sediments, surface roughness, surface crusting, crust microtexture and aggregate stability were evaluated. The soils presented laminar regime and subcritical flow, characterizing the formation of erosion in entressulco. The highest disaggregation rates, soil losses and suspended sediments in TCo and RLe occurred in test 1, due to the direct impact of the rain drop, and intrinsic characteristics of each soil. The erodibility was reduced when agricultural gypsum was applied, due to the flocculating effect of the interaction between the colloids of the RL and greater susceptibility to surface crusting, influencing all other properties in this study. The occurrence of a higher number of simulated rainfall would increase the roughness values, altering the hydraulic variables of the runoff in order to reduce sediment transport.

Key words: Water erosion, simulated rainfall, particle disaggregation, Alfisol, Entisol.

1 INTRODUÇÃO

A erosão é um problema que afeta grande parte dos solos no mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (VAEZI et al., 2017), uma vez que boa parte destas áreas apresentam relevo movimentado (declividade > 8%), manejo inadequado do solo, ausência de vegetação e de práticas conservacionistas. Além disso, os processos de degradação dos solos são mais agravantes em solos com pouca profundidade (< 50 cm) e presença de pedregosidade, que os tornam mais vulneráveis a erosão (JARDIM et al., 2017) podendo colocar em risco a produção agrícola, a qualidade do solo, os serviços ecossistêmicos, bens e recursos que o sistema solo pode nos oferecer (LAL, 1988; VAEZI e BAHRAMI, 2014; KEESSTRA et al., 2016).

O processo de erosão causado pela água ocorre em diferentes etapas: (i) impacto direto das gotas de chuva, (ii) desagregação das partículas do solo, (iii) transporte dos sedimentos através do “splash” da gota de chuva e (iv) escoamento difuso, que inicialmente origina o processo de erosão em entressulcos (EVEREART et al., 1991; MAIER et al., 2013; CANTALICE et al., 2017) podendo ainda ser dividido em erosão em entressulcos e sulcos. A erosão em entressulcos refere-se ao impacto direto das gotas de chuva no solo provocando a desagregação e transporte dos sedimentos através do efeito ‘splash’ da gota de chuva e pelo escoamento difuso. Durante a fase em sulco ocorre o regime turbulento transportando os sedimentos (AMORIM et al., 2010; JARDIM et al., 2017).

Neste sentido, propriedades intrínsecas de cada solo influenciam a erodibilidade, que se trata de um fator complexo dependente da interação de atributos múltiplos, como capacidade de infiltração da água no solo, capacidade de resistir à desagregação e ao transporte provocado pela chuva e pelo escoamento superficial (AMORIM et al., 2010). A textura do solo influencia a erodibilidade tornando-se um agravante para a ocorrência de fenômenos como selamento e encrostamento superficial (SAJJADI e MAHMOODABADI, 2015).

O selamento superficial resulta do impacto direto das gotas de chuva ou ainda, do salpico e desagregação durante a fase úmida ocorrendo uma reorientação das partículas bloqueando os poros e criando uma superfície selada (TABOADA-CASTRO et al., 2015). Já o encrostamento é um termo aplicado para descrever a superfície do solo, quando esta se torna endurecida ou impermeável após períodos de secagem (BRANDÃO et al., 2006; DALA ROSA et al., 2013).

De acordo com o índice de estabilidade (IS) proposto por Pieri (1992), solo com valores inferiores a $> 5\%$, têm tendência a perda de estrutura e grande suscetibilidade à erosão e, conseqüentemente, ao encrostamento superficial. Dessa forma, a hipótese neste trabalho foi para as classes mais frequentes de solos do estado da Paraíba (e.g. Neossolo Litólico que ocupam 37,9 % e Luvisso solo Crômico com 17,2% da área do estado da Paraíba) (MEDEIROS, 2018) e apresentam textura franco-arenosa e baixos teores de matéria orgânica são mais susceptíveis ao encrostamento superficial e a erosão (LÉONARD e RICHARD, 2004).

Devido a grande representatividade destas classes de solo é importante destacar que o selamento e encrostamento dos solos contribuem para acelerar problemas ambientais como erosão e desertificação degradando os solos (DUARTE, 2014). Alguns estudos no intuito de compreender esse fenômeno de encrostamento vêm sendo realizados (SOUZA et al., 2014; CASTILHO et al., 2015; CARMEIS FILHO et al., 2017; MIRANDA et al., 2018). No entanto, são poucas as informações encontradas na literatura no ambiente semiárido, necessitando de pesquisas sobre formas de mitigação dos problemas causados nos solos.

Diante disso, o gesso agrícola tem sido reproduzido como condicionador do solo promovendo efeitos sobre suas propriedades (e.g. redução da densidade do solo, elevação dos níveis de cálcio e magnésio, aumento radicular em profundidade, redução dos níveis de sodicidade, aumentos de condutividade hidráulica e macroporosidade) assim como redução dos níveis de encrostamento superficial (ROSA JUNIOR et al., 2007; AULER et al., 2017; KIM et al., 2017; MIRANDA et al., 2018).

Contudo, poucos são trabalhos que descrevem as ações benéficas do gesso agrícola sobre o selamento/encrostamento superficial, requerendo de maiores informações que auxiliem na adoção de práticas de manejo adequadas para as diversas condições de manejo e classes de solo.

2 HIPÓTESES

1. Neossolo Litólico apresenta maior erodibilidade e encrostamento superficial em relação ao Luvisolo Crômico Órtico, devido apresentar menor estabilidade de agregados e maior relação silte e areia muito fina, tornando-os mais susceptíveis aos agentes erosivos.
2. A aplicação de gesso agrícola reduz a erodibilidade e conseqüentemente o encrostamento superficial, por promover a flocculação de argila do solo, refletindo em melhoria na agregação e aumento da permeabilidade da superfície do solo, reduzindo a erodibilidade em entressulcos.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a erodibilidade em entressulcos e encrostamento superficial em solos do semiárido sob aplicação de gesso agrícola em condições de chuva simulada.

3.2 Específicos

1. Avaliar variáveis hidráulicas do escoamento em condições de laboratório em solos descobertos com e sem aplicação de gesso agrícola;
2. Determinar a taxa de desagregação em entressulcos, perdas totais de solo, concentração de sedimentos em suspensão e erodibilidade em entressulcos, com e sem aplicação de gesso agrícola;
3. Verificar a influência da aplicação de gesso no encrostamento superficial, textura de crostas e estabilidade de agregados.

4 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erodibilidade (K)

O solo (pedosfera) é considerado uma parte integrante importante do sistema da terra, pois é um componente ativo nos ciclos erosivos, geoquímicos, biológicos e ecológicos, além de ser uma fonte imprescindível de bens, serviços e recursos para a humanidade (ANACHE et al, 2017). No entanto, a erosão acelerada do solo é reconhecida como um problema ambiental no que se refere à ocupação do solo para práticas agropecuárias e florestais, afetando sua capacidade produtiva através da redução da porosidade do solo, assim como da sua capacidade de retenção e infiltração de água, com consequente aumento do escoamento superficial, do transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos (DURÃES e MELLO, 2016).

Em razão do uso intenso do solo e da expansão da área de produção agrícola é crescente a preocupação quanto às perdas de solo, sendo de fundamental importância o manejo racional do solo, para o qual é preciso o conhecimento dos fatores que determinam o processo erosivo, bem como a magnitude e interação destes (ARAÚJO et al., 2011)

Para verificar a influência de fatores externos e internos sobre o solo como forma de prever as perdas de solo e planejar o controle da erosão hídrica, (WISCHMEIER e SMITH, 1965) sugeriram a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), que depende de um conjunto de fatores, tais como erosividade da chuva (R); erodibilidade do solo (K); comprimento de rampa (L); declividade de rampa (S); cobertura vegetal (C) e práticas conservacionistas (P).

A erodibilidade (representada pelo fator K_i) indica a condição inerente do solo, portanto, a suscetibilidade ao destacamento e transporte por processos de erosão (CASSOL et al., 2018). A erodibilidade representa, assim, o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo, em relação aos processos erosivos (AQUINO e OLIVEIRA, 2017).

O fator K_i pode ser determinado de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis, através da instalação de parcelas de perda de solo em campo, seja sob chuva natural ou simulada, as quais envolvem altos custos além de demandarem no mínimo 5 anos de coleta de dados (MARTINS et al., 2011; EDUARDO et al., 2013). Para Holanda Neto et al. (2011) a erodibilidade é um atributo intrínseco de cada solo e

expressa a resistência deste à erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos do solo.

Por esse motivo é comum o uso de modelos de estimativa da erodibilidade de maneira indireta, os quais são obtidos por meio de regressões múltiplas que utilizam atributos simples do solo (morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos) como variáveis independentes ou a relações destes, correlacionados com o fator K_i obtido de forma direta (SILVA et al., 2016; ARAÚJO et al., 2011). O método indireto mais conhecido para estimativa do fator K_i é o nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971) em que na sua elaboração, foram incluídos, predominantemente, solos de textura média do meio-oeste dos EUA. De acordo Silva et al. (1994), apesar do nomograma ter sido amplamente utilizado em todo o mundo, alguns estudos têm indicado que o método não é adequado para uso no Brasil.

No Brasil, um número considerável de solos já tem o seu valor de erodibilidade determinado de forma indireta. Conforme estudo realizado por Jardim et al. (2017) com Planossolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo no município de Serra Talhada-PE, foram encontrados valores de $0,2497 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e $0,7339 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, respectivamente. Já em estudos realizado no estado do Piauí por Aquino e Oliveira (2017) os valores de K variaram, em $\text{Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, de 0,030 a 0,048 para os Luvisolos; 0,032 a 0,043 para os Planossolos Háplicos; 0,018 a 0,030 para os Neossolos Quartzarênicos; 0,033 para os Neossolos Flúvicos, e 0,010 a 0,053 para os Neossolos Litólicos.

A principal medida para a conservação dos recursos naturais é a prevenção da erosão hídrica. Sendo assim, a erodibilidade do solo pode ser uma característica importante quando se fala em áreas agrícolas utilizadas intensamente (ALBUQUERQUE, 2000; CASSOL et al., 2018). A previsão da suscetibilidade à erosão do solo e a verificação das principais fontes de erosão em uma área constituem o começo da escolha de estratégias adequadas para o controle da erosão (AUERSWALD et al., 2014).

2.2 Encrostamento superficial

A formação de crostas superficiais é um fenômeno importante que acontece em solos cultiváveis de regiões tropicais e subtropicais (ZONTA et al., 2012), causando frequentemente problemas de produção de culturas, incluindo a impedância de emergência de plântulas, que resulta no estabelecimento de culturas com falhas (SCHILLINGER, 2011; FENG et al., 2013).

As crostas superficiais podem ser definidas como finas camadas, que apresentam variação quanto a densidade, rugosidade e espessura (0,1 a 50 mm), podendo ou não

apresentar rachaduras, comprometendo a qualidade superficial dos solos (DALA ROSA et al., 2013).

A principal causa para a formação das crostas na superfície do solo é o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, na forma de chuva natural, simulada ou irrigação, ocasionando o selamento dos macroporos; essas crostas acentuam-se à medida que o solo é mantido exposto, com pouca ou nenhuma cobertura (XIA et al., 2012). Fatores como textura, compactação, teor de óxidos de ferro, teor de sais, condições de topografia do terreno, práticas de cultivo e preparo mecânico, mineralogia, matéria orgânica, umidade inicial, distribuição, tamanho e estabilidade dos agregados podem alterar as condições superficiais do solo (DALA ROSA et al., 2013; SAJJADI e MAHMOODABADI, 2015).

O processo de encrostamento ocorre em duas etapas: uma inicial, em que o período de desagregação ocorre sob precipitação (reorganização de partículas em uma estrutura mais densa e contínua por enchimento e compactação), formando crostas denominadas de estruturais; e a segunda, caracterizada pelo transporte e deposição de partículas finas do solo longe de seu ponto de origem, ocorrendo formação de crostas denominadas de deposicionais (TABOADA-CASTRO et al., 2015).

Com a formação das crostas durante os eventos de chuva, a infiltração de água no solo pode ser bastante reduzida. Além disso, as crostas têm maior resistência ao cisalhamento, maiores densidades e poros mais finos, aumentando assim o escoamento superficial, erosão do solo potencial e diminuição da eficiência no uso da água (WANG et al., 2016)

Dessa maneira, é de extrema importância avaliar problemas de encrostamento superficial em solos. Em pesquisas realizadas por Sajjadi e Mahmoodabadi (2015), em solo arenoso do Irã, os autores verificaram que as taxas de desagregação das partículas e de infiltração de água diminuíram em solos saturados durante o evento de chuva simulada, em vista disso, concluíram que o encrostamento superficial formado foi o único fator responsável pela alteração na infiltração de água no solo.

O estudo da erodibilidade e o detalhamento do processo de formação de crostas do solo podem ser monitorados diretamente por meio da mudança da morfologia ou indiretamente através do diagnóstico das características físicas e hídricas como diminuição da capacidade de infiltração e da condutividade hidráulica e do aumento da resistência à penetração na superfície (DALA ROSA et al., 2013), sendo este último um meio simples e barato para se diagnosticar a severidade da crosta formada no solo (ALMAJMAIE et al., 2017).

Áreas com preparo convencional do solo e desprovidas de cobertura vegetal em superfície são mais suscetíveis à erosão hídrica, pois, este sistema favorece a formação do selamento superficial (PANACHUKI et al., 2010). Isso porque os resíduos vegetais na superfície do solo interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e o selamento superficial. Ocorrendo também diminuição da capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo, com efeitos marcantes na conservação do solo e da água (SANTOS et al., 2015).

No entanto, em sistemas considerados conservacionistas, como o plantio direto e a pastagem sob manejo adequado, com pouco ou nenhum revolvimento do solo e que mantenham cobertura vegetal sobre a superfície, além de plantas que apresentam altos índices de cobertura e elevada produtividade de fitomassa há tendência de formação de agregados maiores e mais estáveis, amortecendo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo e proporcionando aumento da resistência do solo à erosão (CARDOSO et al., 2012; ALMEIDA et al., 2016).

2.3 Gênese e Morfologia do Luvisolo Crômico Órtico (TCo)

Luvisolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevadas, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E, variando de moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com teor de alumínio extraível baixo ou nulo; também apresentam diversos horizontes superficiais, exceto A chernozêmico e horizonte hístico (JACOMINE, 2013; EMBRAPA, 2014; SANTOS et al., 2018).

Os principais processos pedogenéticos que evidenciam a formação de Luvisolos na região semiárida ocorrem através da transformação e neoformação de minerais secundários (OLIVEIRA et al., 2008b). Os autores ainda relatam que o processo de rubificação possivelmente seja outro processo pedogenético associado na formação do horizonte B avermelhado. A rubificação consiste na liberação do Fe (Fe^{2+}) dos minerais primários e sua oxidação e dispersão na forma de óxidos de Fe em quantidades crescentes, conferindo colorações brunadas e vermelhas à matriz do solo (KAMPF e CURI, 2012).

Os Luvisolos ocorrem principalmente em regiões tropicais e subtropicais e nas superfícies terrestres jovens, representando de 50 a 60 milhões de ha em todo o mundo, ocorrendo principalmente em regiões de clima temperado FAO (2014). No Brasil ocupam uma área de 225,6 mil km^2 , e, na região semiárida cerca de 110 mil km^2 , correspondendo a 89 % da área no Nordeste e na Paraíba apresenta uma área de 11,442 Km^2 , distribuídos sob

a Depressão Sertaneja, Depressão Sublitorânea e na Superfície Aplainada da Borborema (OLIVEIRA et al., 2008).

Este solo ocorre em diferentes superfícies de pediplanos da zona Semiárida, formados em grande maioria em terrenos do Pré-Cambriano, derivados de rochas gnáissicas e/ou xistosas ricas em minerais contendo ferro e magnésio (OLIVEIRA, 2011). Atualmente, sabe-se que esta classe compreende 2 subordens: Luvisolos Crômicos, que são solos com caráter crômico na maior parte do horizonte B, e Luvisolos Háplicos, que são solos pouco cromados na maior parte do horizonte B que não se enquadram na classe anterior (JACOMINE, 2013; EMBRAPA, 2014; SANTOS et al., 2018).

Considerando os Luvisolos Crômicos, estes ocorrem, em todos os Estados do Nordeste sob vegetação de Caatinga, apresentando variações de pH entre moderadamente ácido a neutro, porém, com uma elevada saturação de bases (CUNHA et al., 2010). Além disso, apresentam pouca profundidade, com presença de horizonte A fraco, com uma estrutura fracamente desenvolvida. As cores possivelmente são influenciadas pela presença de três fases magnéticas: maghemita, hematita (Hm) e goethita (Gt) (JORDANOVA et al., 2013). Na Paraíba esses solos apresentam horizonte com A fraco, textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila, relêvo forte ondulado e montanhoso substrato gnaisse e granito e afloramentos de rochas (BRASIL, 1972).

Esta classe de solo apresenta elevado potencial nutricional, entretanto, condições climáticas (chuvas), morfologia (relevo ondulado) favorecem a erosão do solo. Ao mesmo tempo, apresentam baixa profundidade efetiva, baixa capacidade de drenagem interna contribuindo para a suscetibilidade à erosão (OLIVEIRA et al., 2008). Considerando os níveis de degradação da terra em moderada, severa e muito severa, mostraram que 85% dos Luvisolos estão gravemente comprometidos com o processo de desertificação (SÁ et al., 2013).

Contudo, este solo apresenta geralmente um horizonte A associado a um revestimento pedregoso superficial, com a presença de cascalhos e calhaus, característico das zonas áridas e semiárida (CUNHA et al., 2010). Tendo em vista as condições do solo e o clima regional, a indicação deste solo é para o aproveitamento com uso da pecuária, desde que sejam feitas reservas de forragens para o período seco.

2.4 Gênese e Morfologia do Neossolo Litólico (RL)

Os Neossolos são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso e por apresentarem pequenas expressões dos processos pedogenéticos possuem sequências de horizonte A-R, A-CR, ACr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C, não atendendo aos requisitos

para serem identificados nas classes do Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos são subdivididos em quatro subordens: Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos (SANTOS et al., 2018). Os Neossolos Litólicos são constituídos, em grande parte, por fragmentos de rochas maiores que 2 mm, geralmente pedregosos com contato lítico dentro de 50 cm de profundidade formados por meio de qualquer tipo de rocha, associado comumente a um relevo movimentado, apresentando nítido predomínio de minerais herdados do material de origem e sequência de horizontes do tipo: A-R, O-R, H-R ou A-CR (EMBRAPA, 2018). Dessa forma, apresentam reduzida atuação dos processos pedogenéticos, principalmente em regiões semiáridas onde o intemperismo químico é limitado devido às baixas precipitações pluviais que pouco contribuiu para degradar a rocha.

Contudo, o território paraibano é composto por cerca de 80% de rochas pré-cambrianas, granitos de natureza e composições variadas, que sofrem influência do clima semiárido, clima regional, vegetação e relevo, formando os Neossolos. Este solo compreendem cerca de 37,9% de toda a área do Estado, localizado principalmente nas microregiões do Sertão do Rio Piranhas, Sertão do Oeste, Borborema Central, Oriental e Seridó, correspondendo a 21, 330, 45 Km² (MEDEIROS, 2018; CAMPOS e QUEIROZ, 2006). Ainda na Paraíba, esta classe de solo apresenta horizonte A fraco, textura franco-arenosa, relevo suave ondulado a ondulado, erosão do tipo laminar moderada, predomínio de calhaus, estrutura do tipo em blocos subangulares, ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição abrupta plana e nos locais de ocorrência há predomínio de caatinga hiperxerófila (BRASIL, 1972).

De acordo com recomendações de Oliveira (2011), estes solos apresentam limitações ao uso agrícola em função da baixa profundidade efetiva que dificulta o crescimento radicular, baixa capacidade de armazenamento de água (permitindo apenas a presença de culturas resistentes à estiagem), rochosidade generalizada e elevada suscetibilidade à erosão. Desse modo, a vulnerabilidade à degradação de seu potencial de uso agrícola, e de sua capacidade de produção podem expressar variações nos atributos físico-hídricos e químicos (DONAGEMMA et al., 2016).

Os Neossolos Litólicos ocorrem em grande maioria em relevos acidentados apresentando limitações ao uso agrícola, reduzindo a produtividade devido as áreas terem difícil acesso (NEVES et al., 2011). Apesar dessas suas limitações estes solos apresentam boa fertilidade natural, ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis tornando

um reservatório de nutrientes, com predominância de potássio, cálcio e magnésio, o que contribui para manter a sua fertilidade ao longo do tempo (SILVA et al., 2013).

Em trabalho realizado por Medeiros et al. (2013), avaliando as características físico-químicas de um Neossolo Litólico na região Seridó no Rio Grande do Norte, em diferentes profundidades, em área de cultivo de hortaliças, constataram boa disponibilidade de matéria orgânica ($3,93\text{mg/dm}^3$), K, V, CTC, t, assim como valor de soma de bases ($3,99$ a $21,43\text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), sendo essa variação bem próxima da CTC ($4,16$ a $21,43\text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), sendo classificados como muito bom na camada 0-20 cm do solo. Tendo em vista a importância indiscutível desse solo para o sustento da produção agrícola, é necessário a adoção de práticas de manejo que propiciem a conservação do solo, principalmente em regiões de clima tropical, na qual a degradação do solo é mais acentuada (CASTILHO et al., 2015).

2.5 Processos de erosão hídrica

A degradação dos solos constitui a perda de suas qualidades naturais, físicas e bioquímicas, gerada em sua maioria pelos processos erosivos (FANTINEL e BENEDETTI, 2015). Diante disso, consideram-se os processos erosivos uma ameaça ambiental, sendo de grande importância o seu conhecimento para manutenção dos ecossistemas terrestres (DANTAS et al., 2015)

O uso desenfreado dos recursos naturais, contingenciados pelas formas de uso e ocupação da terra, sejam eles renováveis ou não, agrava ainda mais o processo de degradação dos solos (MOURA et al., 2017). Um conjunto de causas é apontado como responsáveis pelo atual processo de degradação nos solos das diversas partes do mundo. Dentre elas destacam-se: intervenção humana, crescimento populacional, práticas inadequadas na agropecuária e manejo inadequado do solo (SILVA et al., 2018).

A degradação do solo está relacionada com práticas agrícolas intensivas (preparo excessivo do solo, baixa cobertura vegetal) e manejo do solo de modo desordenado que provoca grave degradação ambiental, incluindo perda da biodiversidade e poluição de mananciais superficiais e subterrâneos devido ao uso intenso de fertilizantes e pesticidas nas lavouras. Essa perda de solo está em grau de moderado a altamente degradado (33% dos solos do mundo) devido principalmente à erosão hídrica (FAO e ITPS, 2015).

A erosão é um fenômeno de ocorrência natural, ocasionado por fatores hídricos e eólicos que modelam as feições geológicas do planeta. Sua intensidade varia ao longo do tempo e em diferentes localizações na superfície do solo, dependendo das combinações da ação do clima, escoamento superficial, composição dos solos, topografia, cobertura

vegetal, manejo e práticas de conservação (MONTENEGRO et al., 2013). Além disso, a ação antrópica vem intensificando os processos erosivos, causando sérios problemas ao ambiente como redução da produtividade das culturas, perda de nutrientes e matéria orgânica, assoreamento e poluição dos corpos hídricos (PROSDOCIMI et al., 2016), ocasionado um problema socioeconômico e ambiental.

Um exemplo da ação antrópica é o mau planejamento do uso de terras agrícolas para a produção de alimentos, que cresce anualmente e transforma ecossistemas naturais em ambientes degradados. Por décadas, a ação antrópica vem modificando os agroecossistemas devido ao uso inadequado do solo e ausência de práticas conservacionistas. Em virtude dessa ação antrópica inadequada, boa parte dessas terras vêm diminuindo sua capacidade produtiva e causando danos irreversíveis devido à expansão da degradação do solo (FIORIO et al., 2016; BARROS et al., 2016).

Sabe-se também que os processos erosivos, quando acelerados, carregam a camada superficial do solo, levando nutrientes importantes para a regeneração natural da mata nativa. Intensificando-se essas ações, pode-se chegar a um processo de degradação da área, o qual é bastante difícil de reverter (ÁVILA e MEDEIROS, 2014).

Em regiões tropicais a erosão hídrica constitui-se em uma das principais formas de erosão, a qual inicia-se com o impacto das gotas de chuva sobre o solo, com posterior desagregação, transporte e deposição das partículas de solo (CEMIN et al., 2013), podendo ser dividida em: erosão em entressulcos, sulcos, ravinas e voçorocas (MONTENEGRO et al., 2013).

A erosão hídrica em áreas agrícolas não apenas retira o solo fértil, mas também degrada a qualidade da água ocasionando assoreamentos em córregos, rios e reservatórios (ZHU et al., 2013), processo esse agravado em regiões áridas e semiáridas devido a pouca espessura das camadas nos perfis, assim como baixa profundidade e pedregosidade tornando-os susceptíveis à erosão (JARDIM et al., 2017).

Contudo, a capacidade dos solos da Caatinga de suportar os impactos provocados pela erosão hídrica, pode ser estimada tanto de forma qualitativa como quantitativa. A análise qualitativa não permite a obtenção de valores numéricos é importante para a estimativa da degradação do solo e da sedimentação. Já a análise quantitativa permite a estimativa da erosão absoluta. Cada uma das formas apresenta vantagens e desvantagens, promovendo assim o planejamento conservacionista (FRANCO et al., 2012).

2.6 Erosão em entressulcos

Os processos de erosão hídrica do solo pode ocorrer de duas maneiras: em entressulcos ou em sulcos. Cantalice et al. (2017), descrevem o início do processo erosivo do solo pela ação da erosão em entressulcos, quando a lâmina de escoamento transporta as partículas de solo desagregada pela chuva, bem como transporta as partículas que a própria lâmina desagregou. Franco et al. (2012), descrevem que a erosão em entressulcos ocorre pelo processo de desagregação das partículas, em virtude do impacto e da turbulência provocados pelas gotas de chuva, que posteriormente sofrem o transporte, arraste e suspensão, através do escoamento superficial pelo fluxo laminar raso.

De modo simplificado, os processos que contribuem para erosão em entressulcos são: desagregação, transporte e deposição de partículas (ASADI et al., 2007). Estes processos conferem grandes danos a agricultura, por provocar em perdas de solo, água e nutrientes, e contribuir para a degradação da qualidade do solo e da água (FU et al., 2011).

O processo de erosão em entressulcos é influenciado pelas condições de superfície do solo, principalmente em função da ausência ou baixa presença de cobertura vegetal, intensidade de precipitação, topografia, rugosidade da superfície e declividade do terreno (AMORIM et al., 2010; DEFERSHA et al., 2011). Diferentemente da erosão em sulcos, que ocorre em áreas curtas e comumente orientadas conforme o microrelevo superficial (MEYER et al., 1975).

A erosão em entressulcos está relacionada não apenas com as condições de coesividade do solo, mas também a fatores relacionados com a fase de transporte dos sedimentos, especialmente influenciadas pelas operações de preparo do solo que envolvem uma mobilização do solo exercendo grande influência sobre a estabilidade dos agregados (OLIVEIRA et al., 2012). Neste tipo de erosão há seletividade no transporte, principalmente de partículas finas, no momento em que ocorre a produção de sedimentos em suspensão em decorrência da insuficiência do escoamento superficial, havendo dificuldade no transporte de partículas mais grosseiras ou até mesmo pela deposição destes sedimentos (SHI et al., 2012).

O processo de formação de uma camada selada também influencia e é influenciada pela erosão em entressulcos, devido aos impactos de gotas de chuva, sobretudo a exposição de chuvas com alta energia, que provoca a impermeabilização da superfície diminuindo a infiltração de água (ASSOULINE e BEN-HUR et al., 2006). Além desses processos, diversos fatores como atributos físicos do solo, cobertura vegetal, intensidade de chuva, taxa de infiltração e escoamento, comprimento e declive da rampa,

podem afetar a dinâmica do escoamento em entressulcos (ALBUQUERQUE et al., 2000; FREITAS et al., 2008; ARMSTRONG et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; MAIER et al., 2013; ZHANG et al., 2017).

2.7 Gesso Agrícola

O gesso agrícola é considerado um sal neutro que pode ser obtido em jazidas de gipsita, presentes no mundo e no Brasil, principalmente nos estados de Pernambuco e Maranhão (OLIVEIRA et al., 2012). Sua composição consiste em sulfato de cálcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) o que torna-se um material muito utilizado e estudado no planeta (BARBOSA et al., 2014). Desse modo, por ter grande abundância, alta eficiência, baixo custo de aquisição e facilidade de manuseio, torna-se muito utilizado para a correção de solos salino-sódicos (LEITE et al., 2010, YAZDANPANAHI e MAHMOODABADI, 2011; MATOS et al., 2014; SANTOS et al., 2014; SÁ et al., 2018).

Além dos estudos enfocando a atuação do gesso sobre redução dos níveis de sodicidade, a aplicação de gesso tem sido avaliada como alternativa para a melhoria da qualidade química, bem como suas influências nos atributos físicos do solo (CARDUCCI et al., 2015; AULER et al., 2017).

O gesso promove efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo, podendo aumentar a infiltração e a capacidade de retenção de água. Isso ocorre como resultado da elevação da floculação da argila, possibilitando maior estabilidade dos agregados, assim como redução da densidade do solo (ROSA JUNIOR et al., 2007).

Avaliando a aplicação de gesso e palhada de arroz em solos sódicos com caráter de horizontes superficiais na Coréia do Sul, Kim et al. (2017) verificaram que os tratamentos com aplicação de gesso e gesso + composto de palha de arroz foram mais eficazes na redução da condutividade elétrica (CE) e porcentagem de saturação de sódio trocável (PST) do solo. Os autores relatam que estes resultados foram provavelmente devido à interação entre o gesso e solubilidade dos minerais, uma vez que ocorre a floculação das argilas, assim como lixiviação dos sais.

A utilização do gesso agrícola também ocorre para diferentes finalidades. Moura et al. (2018), trabalhando com diferentes combinações entre resíduos de leguminosas e gesso com diferentes tratamentos: (i) controle; (ii) ureia; (iii) leguminosa; (iv) 6 t / ha^{-1} de gesso com leguminosa ou (v) com uréia ou (vi) com ambos; e (vii) 12 t / ha^{-1} de gipsita com uréia e leguminosa durante o período de 2011-2015, verificou que o gesso com resíduos de leguminosas modificou a zona radicular, aumentando os níveis de cálcio e matéria

orgânica, assim como reduziu a resistência à penetração no solo em comparação com os outros tratamentos.

Em decorrência dos efeitos benéficos do gesso sobre as propriedades químicas e físicas dos solos, sua utilização favorece o melhor aproveitamento da água disponível no solo pelas culturas, devido ao aumento do volume de Ca^{2+} no solo explorado pelas raízes, reduzindo os efeitos negativos ocasionados por veranicos (KIM et al., 2017). Para tanto, Miranda et al. (2018), avaliando a influência de diferentes condicionantes: *Atriplex nummularia L.*, como planta de fitorremediação, devido à sua capacidade de extrair sais do solo (condicionadores orgânicos), como estrume de bovinos e ovinos; gesso e polímero (condicionadores químicos) na recuperação de atributos físicos de um Neossolo Flúvico verificaram que com a aplicação do gesso houve um aumento na macroporosidade na camada de 0-10 cm em 42,6%.

Trabalhando com um sistema de plantio direto (SPD), Dalla Nora e Amado (2013) verificaram que, o gesso proporcionou o aprofundamento do sistema radicular e a maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo ultrapassando barreiras que impedem o sistema radicular de buscar fontes nutritivas para seu desenvolvimento.

O gesso como condicionador do solo para o crescimento radicular pode desempenhar importante função no incremento de MO através do maior aporte de resíduos orgânicos em profundidade. Sabe-se que em torno de 27 a 37 % da entrada de carbono no solo tem origem nas raízes (SANTOS et al., 2011). Portanto, quando há um maior aporte de matéria orgânica no solo, maior estabilidade de agregados e menores riscos de problemas como encrostamento em camada mais superficial do solo, o gesso agrícola têm sido usado como melhorador do ambiente radicular em subsuperfície (COSTA e CRUSCIOL, 2016; CARMEIS FILHO et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção dos solos

As classes de solos foram selecionadas de acordo com o índice estabilidade 'IS' proposto por Pieri (1992) que correlacionam os níveis de matéria orgânica crítica para manutenção da estabilidade física. Dessa forma, a partir do levantamento exploratório dos solos do estado da Paraíba (BRASIL, 1972), foi possível calcular o "IS" dos principais solos representativos do Estado, utilizando a seguinte fórmula:

$$IS = \frac{1,72 \times CO}{(\text{silte} + \text{argila})} \times 100; 0 \leq IS \leq \infty$$

onde: IS=representa o equilíbrio estrutural do solo com base em níveis críticos de matéria orgânica e textura do solo, expresso em %.

Dentre as classes de solos, as que apresentaram valores inferiores a 5% foram: Luvisolo Crômico Órtico (1,91%) e o Neossolo Litólico (0,96%), demonstrando grande potencial de susceptibilidade a erosão e ao encrostamento superficial. Além disso, as duas classes de solo correspondem a 55,1% de representatividade no Estado (MEDEIROS, et al., 2018).

3.2 Coletas dos solos

Os solos utilizados foram coletados em dois municípios do estado da Paraíba: Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) em Casserengue-PB (S 06° 28.205'; W 035°21.365'), localizada na microrregião do Curimatau Oriental e Luvisolo Crômico Órtico (TCO) em São João do Cariri-PB (S 05° 31.459' W; 036° 31.905'), localizado na microrregião do Cariri oriental.

O clima pela classificação de Köppen de São João do Cariri é do tipo BSh (semiárido quente), com precipitação média de 420,4 mm/ano e temperatura média de 23,7°C (MEDEIROS et al., 2015) e em Casserengue apresenta clima BSh (clima seco semi-árido) com temperaturas que variam de 18 a 31°C (ALVAREZ et al., 2013) e precipitação média de 413,8 mm/ano (AESAs, 2017). Os dados das precipitações pluviiais médias durante o período de coleta e condução da pesquisa constam na Figura 1.

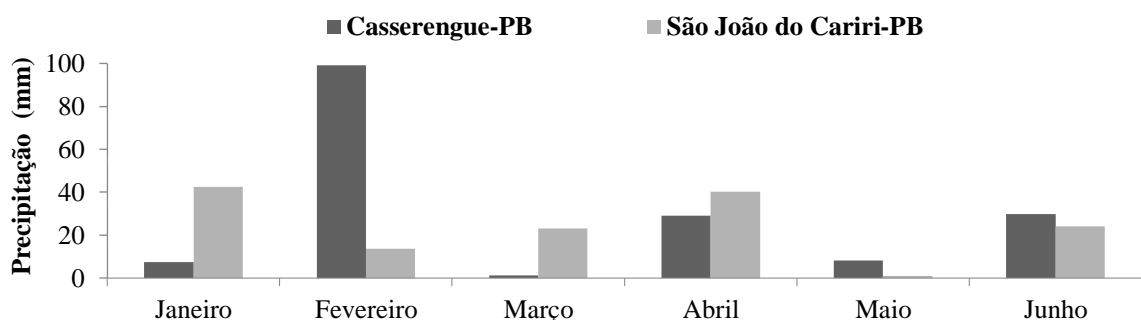


Figura 1. Dados de precipitações (2018) nos municípios onde foram realizadas as coletas dos solos. Fonte: Adaptado de AESA (2018).

A coleta dos solos ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2018 (Figura 2), sendo retiradas amostras da camada de 0-20 cm de profundidade por meio de uma pá de

corde. As amostras foram destorroadas manualmente, com o cuidado de separar os agregados nos planos de fraqueza natural e peneiradas em malha com abertura de 10 mm de diâmetro.



Figura 2. Perfis dos solos estudados. (A) Luvisolos Crômico Órtico (TCo), (B) Neossolo Litólico Eutrófico (RLe).

Os solos em estudo estão inseridos em áreas com problemas de degradação/desertificação. Sampaio et al. (2005) descreve que a desertificação é aquela na qual a razão entre precipitação e evapotranspiração potencial anuais fica abaixo de 0,65. Além disso, a desertificação pode ser entendida como a degradação das terras nas zonas áridas e semiáridas e sub-úmidas secas sendo resultante de vários fatores incluindo variações climáticas e as atividades humanas.

Dessa maneira, no Brasil, as zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas estão restritas à região Nordeste, região essa onde está inserida a pesquisa. As áreas onde foram coletados os solos apresentam baixa ou ausência de cobertura vegetal, presença de erosão, pouca profundidade, compactação e encrostamento, declividade acentuada, textura arenosa, assim como, variações sazonais climáticas evidenciando a presença de problemas de degradação/desertificação.

3.3 Instalações das parcelas e aplicação das chuvas simuladas

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). As parcelas experimentais possuem área útil de $0,3481 \text{ m}^2$, (dimensões de 0,59 m por 0,59 m e profundidade de 0,10 cm), com bordadura lateral de 20 cm de largura. O volume da parcela experimental foi preenchido com uma camada de 3 cm de espessura de brita, 1 cm de areia e entre cada camada foi colocada uma tela de plástico com malha de 1 mm. Acima desta tela foi colocada uma camada de solo de

6 cm de espessura, para densidade de empacotamento (Dep) de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$. A declividade das parcelas foi de $0,10 \text{ mm}^{-1}$.

Posteriormente, as parcelas foram saturadas com antecedência de 24 horas (em relação a cada teste de chuva simulada), utilizando água fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), mediante um conjunto de mangueiras acopladas no fundo da parcela e conectadas a um reservatório de água posicionado a uma altura equivalente a 15 cm de coluna d'água. Durante o intervalo entre os testes de simulações as parcelas foram protegidas em laboratório, evitando assim, qualquer efeito destrutivo da superfície do solo, bem como de perda de umidade.

Foram aplicadas chuvas utilizando-se um simulador semelhante ao construído por Souza (1985), com um bico aspersor tipo Vee-Jet 80150 e diâmetro interno de 12,7 mm situado a 3,1 m acima da superfície do solo, sendo operado com uma pressão constante de 41 kPa na saída de água do bico. Os testes de chuva simulada tiveram duração de 75 minutos com intensidade média ajustada para 85 mm h^{-1} utilizando água fornecida pela CAGEPA. Foram realizadas quatro simulações experimentais para cada classe de solo com e sem aplicação de gesso agrícola, com intervalos de 0, 7, 14 e 21 dias que correspondem aos testes 1, 2, 3 e 4, respectivamente a cada teste de simulação (Figura 3).



Figura 3. Etapas para montagem da parcela experimental. (A) estrutura da parcela; (B) parcela com 3 cm de brita; (C) parcela coberta com tela de malha; (D) parcela com 1cm de areia; (E) parcela montada; (F) sistema de saturação da parcela; (G) parcela saturada; (H) sistema de bombeamento; (I) bico aspersor tipo Vee-Jet; (J) aplicação de chuva simulada.

O gesso agrícola foi adquirido da Empresa de Mineração STARGESSO INDÚSTRIA LTDA do município de Nova Olinda-CE e os tratamento com sua aplicação receberam o equivalente de $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de acordo com Borselli et al. (1996), correspondendo na parcela experimental a um quantitativo de 312,05 g, incorporados na camada de 0 a 6 cm do solo durante a confecção das parcelas.

3.4 Caracterização dos atributos químicos dos solos

Foram coletadas amostras simples de solo na camada de 0-20 cm para caracterização do solo em campo e 0-6 cm de solo em cada parcela experimental após 4 simulações de chuva. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA), para caracterização química. A caracterização química dos solos (Tabela 1), foi por meio da determinação de pH (H₂O), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺, SB, CTC e M.O. conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos de Luvisolo Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico (RL), com e sem aplicação de gesso agrícola

Atributos Químicos	TCo			RLe			
	Unid	Campo	Com gesso	Sem gesso	Campo	Com gesso	Sem gesso
pH	H ₂ O	6,9	6,6	7	5,9	6,2	6,4
P	----- cmol _c dm ³ -----	7,9	5	5,1	10,7	7,3	6,7
K ⁺		201,5	165,4	220	234,7	130,2	162,4
Na ⁺		0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
Na ⁺ (%)		1	1,7	2,1	9,4	3,2	2,8
Ca ⁺²		9,8	13,8	9,7	0,9	6	2,3
Ca ⁺² (%)		55,3	79,9	61,8	19,6	70	35,8
Mg ⁺²		6,3	2,5	5	1,1	1,4	2,5
Mg ⁺² (%)		35,8	14,6	32,2	25,1	16,8	38,4
SB		16,8	17	15,7	3	8	5,4
CTC		17,7	17,3	15,7	4,5	8,6	6,5
C.O	g/kg ⁻¹	10,2	7,8	8,4	9,4	9	8,1

P = Fósforo; K⁺ = Potássio; Na⁺ = Sódio; Ca⁺² = Cálcio; Mg⁺² = Magnésio; SB = Soma de base; CTC = Capacidade de troca catiônica; C.O.= Matéria Orgânica.

3.5 Caracterização dos atributos físicos dos solos

A análise granulométrica dos solos, foi realizada por meio da distribuição de diâmetro das partículas primárias, de acordo com o método de Bouyoucos (TEIXEIRA et al., 2017), utilizando-se o hidróxido de sódio (NaOH, 1N) como dispersante na agitação mecânica.

Para a determinação da argila dispersa em água, utilizou-se o mesmo procedimento da determinação da argila total, entretanto sem o dispersante químico. Dessa forma, a partir dos dados foi possível calcular o grau de floculação, com a seguinte fórmula.

$$Gf = \frac{\text{Arg} - \text{Arg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{Arg}} \times 100$$

onde: Gf representa o grau de flocculação (%), Arg refere-se à fração argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH (g kg^{-1}), e $\text{Arg}_{\text{H}_2\text{O}}$ a fração argila dispersa em água (g kg^{-1}).

Para determinar a densidade do solo, assim como a densidade de partículas foram adotadas as metodologias descritas por Teixeira et al. (2017). Já em relação à porosidade total, esta foi estimada por meio da seguinte expressão:

$$Pt = \left[1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \right] \times 100$$

onde: Pt representa a porosidade total (m^3m^{-3}), Ds significa a densidade do solo (g cm^{-3}) e Dp representa a densidade de partículas (g cm^{-3}) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização dos atributos físicos de Luvisolo Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) com e sem aplicação de gesso agrícola

Solo	Tratamentos	Areia	Silte	Argila	AD	GF	DS	Dp	Pt	Classe Textural
		-----%-----				-g cm ⁻³		m ³ m ⁻³		
TCo	Campo	61,1	30,8	8,1	2,6	67,9	1,38	2,79	0,50	Franco Arenosa
	Com Gesso	63,0	26,4	10,6	5,2	50,9	1,37	2,65	0,48	Franco Arenosa
	Sem Gesso	57,8	27,7	14,5	7,8	46,2	1,35	2,72	0,50	Franco Arenosa
RLe	Campo	76,3	13,7	10,0	5,1	49,0	1,41	2,65	0,47	Franco Arenosa
	Com Gesso	77,7	11,8	10,5	1,3	87,6	1,40	2,70	0,48	Franco Arenosa
	Sem Gesso	77,7	12,4	9,9	3,8	61,6	1,36	2,65	0,49	Franco Arenosa
Frações da areia										
Solo	Tratamentos	AMG	AG		AM	AF	AMF			
(g/kg ⁻¹)										
TCo	Campo	0,08	0,19		0,37	0,83	0,66			
	Sem Gesso	0,07	0,18		0,5	0,85	0,59			
	Com Gesso	0,12	0,14		0,29	0,83	0,84			
RLe	Campo	0,15	0,23		0,51	1,47	0,64			
	Sem Gesso	0,11	0,15		0,45	1,59	0,72			
	Com Gesso	0,08	0,14		0,43	1,56	0,75			

AD = Argila dispersa em água; GF= Grau de flocculação; DS= Densidade de solo; Dp= Densidade de partícula; Pt= Porosidade total;AMG= Areia muito grossa; AG= Areia grossa; AM=Areia média;AF=Areia fina;AMF=Areia muito fina.

3.6 Caracterizações das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos

A velocidade superficial do escoamento (V_s), foi determinada através da cronometragem do tempo gasto para que um corante (azul de metileno), percorra a distância entre dois pontos fixos na parcela. Essas determinações foram realizadas a intervalos de cinco minutos, a partir da formação da lâmina de escoamento. As velocidades médias do escoamento (V_m) foram determinadas pelo produto das velocidades superficiais do escoamento e um fator de correção $\alpha = 2/3$, tendo em vista a distribuição do perfil de velocidade (KATZ et al., 1995).

Com base na determinação da velocidade média do escoamento (V_m) foram estimadas outras características hidráulicas. O número de Reynolds foi obtido por meio da equação de Simons & Senturk (1992) e dada por:

$$Re = \frac{V_m h}{\nu}$$

em que: Re é o número de Reynolds, adimensional; V_m é a velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$); h é a altura da lâmina de escoamento (m) e ν é a viscosidade cinemática da água ($m^2\ s^{-1}$). A viscosidade cinemática do escoamento varia em função da temperatura. O valor será obtido com a utilização da equação de Julien (1995), que é expressa conforme a temperatura da água, dada por:

$$\nu = [1,14 - 0,031 (T - 15) + 0,00068 (T - 15)^2] \cdot 10^{-6}$$

em que: T é a temperatura da água, em °C.

O número de Froude foi obtido por meio da equação apresentada por Simons & Senturk (1992) e expressa por:

$$Fr = \frac{V_m}{\sqrt{g h}}$$

em que: Fr é o número de Froude, adimensional; V_m é a velocidade média do escoamento (m s^{-1}); g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}); e h é a altura da lâmina de escoamento (m).

A resistência ao escoamento foi determinada pelo fator de perda de carga de Darcy-Weisbach (CHOW, 1959) e dada pela expressão:

$$f = \frac{8 g h S}{V_m^2}$$

em que: f é o fator de perda de carga, adimensional; g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}); h é a altura da lâmina do escoamento (m); S é a inclinação do declive (m m^{-1}); e V_m é a velocidade do escoamento (m s^{-1}).

E por fim, a tensão de cisalhamento do escoamento em entressulcos foi obtida por meio da equação dada por Chow (1959):

$$\tau = \gamma h S$$

em que: τ é a tensão de cisalhamento do escoamento (Pa); γ é o peso específico da água (N m^{-3}); h é a altura da lâmina de escoamento (m); e S é a declividade da parcela (m m^{-1}).

3.7 Determinações das perdas de solo e água

As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram obtidas pela pesagem do material coletado em potes de plástico com capacidade de armazenamento de 1000 mL, colocados na extremidade inferior da calha coletora. Em seguida, foram acrescentados 5 mL de sulfato de alumínio e potássio $\text{AlK} (\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ a 5%, para favorecer o processo de sedimentação.

Os potes plásticos permaneceram em repouso por 24 horas e com auxílio de uma mangueira plástica, foi retirado por sifonamento o máximo possível de sobrenadante. Posteriormente, o material sedimentado foi transferido para embalagens de alumínio e secos em estufa a uma temperatura média de 50 a 60 °C, até peso constante. Em seguida, o material sedimentado foi pesado em balança analítica.

A massa de água foi calculada, subtraindo-se a massa de solo perdida da massa total da enxurrada. A relação entre a massa de solo seco e a massa da mistura água-sedimento expressa a concentração de sedimentos em massa (kg kg^{-1}). A relação entre a massa de água e a massa da mistura água-sedimento expressa a concentração de água na amostra, em kg kg^{-1} , devendo-se admitir a mesma expressa com base em volume, dado por

$L L^{-1}$, medindo-se a relação a relação massa/volume pois a água tem densidade igual a $1,0 \text{ g/cm}^{-3}$.

As taxas de desagregação do solo em entressulcos foram determinadas para cada intervalo de amostragem através da divisão da massa de solo desagregado na unidade de tempo, pela área da parcela experimental, sendo, portanto, expressa em $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, conforme Bezerra e Cantalice (2006), conforme expressão a seguir:

$$D_i = \frac{M_{ss}}{A d_c}$$

em que: D_i é a taxa de desagregação do solo em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); M_{ss} é a massa do solo seco desagregado (kg); A é a área da parcela (m^2); e d_c é a duração da coleta (s).

3.8 Cálculos das perdas totais de solo em entressulcos

As perdas totais de solo em entressulcos foram obtidas pela expressão:

$$PS_i = \frac{\sum(QCt)}{A}$$

em que: PS_i é a perda total de solo em entressulcos (kg m^{-2}); Q é a descarga total (L s^{-1}); C é a concentração de sedimentos na enxurrada (kg L^{-1}); t é o intervalo de tempo entre duas amostragens (s); e A é a área da parcela (m^2).

Cálculo do fator de erodibilidade de acordo com Elliot et al. (1989):

$$K_i = \frac{D_i}{I^2 S_f}$$

em que: K_i é o fator de erodibilidade do solo em entressulcos (kg s m^{-4}); D_i é a taxa máxima de desagregação do solo em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), considerando o valor médio dos cinco últimos pontos de amostragem; I é a intensidade da chuva (m s^{-1}) e S_f , o fator de ajuste para o declive.

O fator de ajuste para o declive é dado pela equação (LIEBENOW et al., 1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 \exp^{(-4 \sin(\Theta))}$$

em que: θ é o ângulo do declive (graus) e \exp é a base dos logaritmos neperianos. Este fator S_f é 0,2 para declive plano e 1 para declive de 45°.

3.9 Estimativa do encrostamento superficial do solo

O encrostamento superficial foi quantificado através do uso de penetrômetro de bolso (Soiltest CL- 700 PocketPenetrometer), que permite avaliar a resistência do solo à penetração (RP) na superfície do solo, medida em kg cm^{-2} . Essa medida foi realizada 4 repetições por parcela, antes e após cada simulação de chuva. Nesse estudo considerou-se que a formação da crosta ou selo estaria diretamente relacionada com a resistência à penetração medida com umidade remanescente de sete dias de armazenamento (Figura 4).

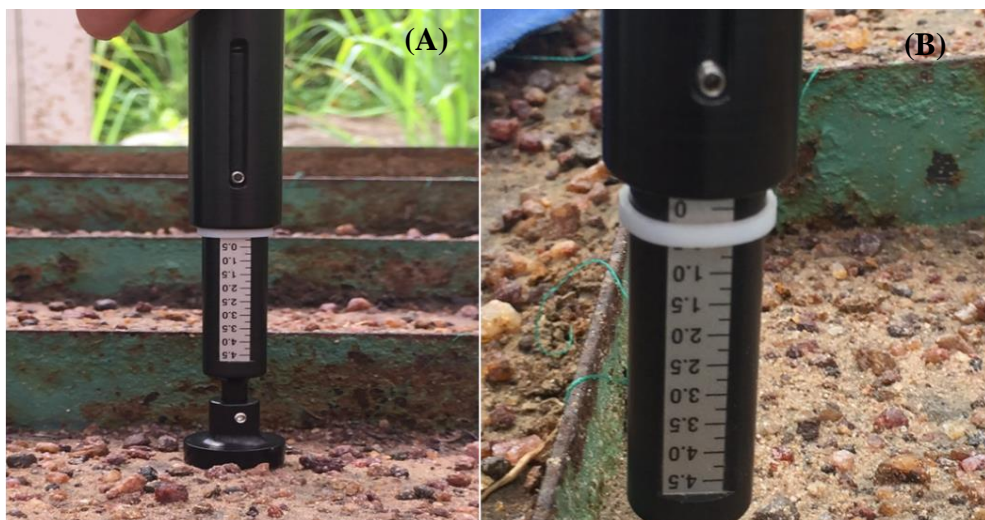


Figura 4. Estimativa do encrostamento superficial do solo através da resistência à penetração. (A) Penetrômetro de Bolso; (B) Medição da resistência dos solos.

3.10 Determinação da textura de crostas superficiais pelo método da micropipeta

Para determinar a textura das crostas foi utilizado o método da micropipeta proposto por Miller & Miller (1987) modificado por Smucker et al. (1996) bem como o método do densímetro conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Dentre os métodos estudados, o método da micropipeta será descrito com mais detalhes a seguir.

Foram coletadas amostras de 4g de solos nas crostas formadas em cada parcela após simulação de chuva. Posteriormente, foram utilizados 40 mL de (NaOH) como dispersante químico, em tubos de centrífuga de polipropileno graduados e com capacidade de 50 mL. Em seguida, completou-se o volume para 50 mL com água destilada e agitou-se por 16 h em mesa agitadora a 120 oscilações por minuto. Concluída a agitação, os tubos

foram deixados em repouso por duas horas. O cálculo deste tempo, para que partículas maiores que 2 μm sedimentem a uma profundidade de 2,5 cm, foi obtido, conforme a lei de Stokes.

$$t = \frac{18 \eta_s h}{g (\rho_p - \rho_1) X^2}$$

em que: η_s representa a viscosidade da solução em função da temperatura (g cm s^{-1}); h a profundidade de coleta (cm); ρ_p a densidade da partícula (g cm^{-3}); ρ_1 a densidade da solução (g cm^{-3}); g a aceleração da gravidade (cm s^{-2}) e X o diâmetro da partícula (cm). A viscosidade (η_s) e densidade (ρ_1) da solução em função da temperatura são calculadas pelas seguintes equações.

$$\eta_s = \eta_{\text{água}} (1 + 4,25C_s)$$

$$\rho_1 = \rho_{\text{água}} (1 + 0,63C_s)$$

em que: $\eta_{\text{água}}$ representa a viscosidade da água; $\rho_{\text{água}}$ a densidade da água, ambas em função da temperatura, obtidas a partir de tabelas; e C_s , a concentração do dispersante químico (14 g L^{-1}).

Com auxílio de uma agulha do tipo 22 hipodérmica foi coletada uma alíquota de 2,5 mL da suspensão, à 2,5 cm de profundidade e posteriormente transferido o conteúdo para um béquer de 100 mL. Em seguida, o conjunto béquer-suspensão foi levado à estufa ($105 \text{ }^\circ\text{C}$, 24 h) para obter-se a massa da argila + dispersante. Logo após preparou-se uma prova em branco, que consiste dos mesmos procedimentos adotados para amostra de solo, excetuando-se a adição (Figura 5).

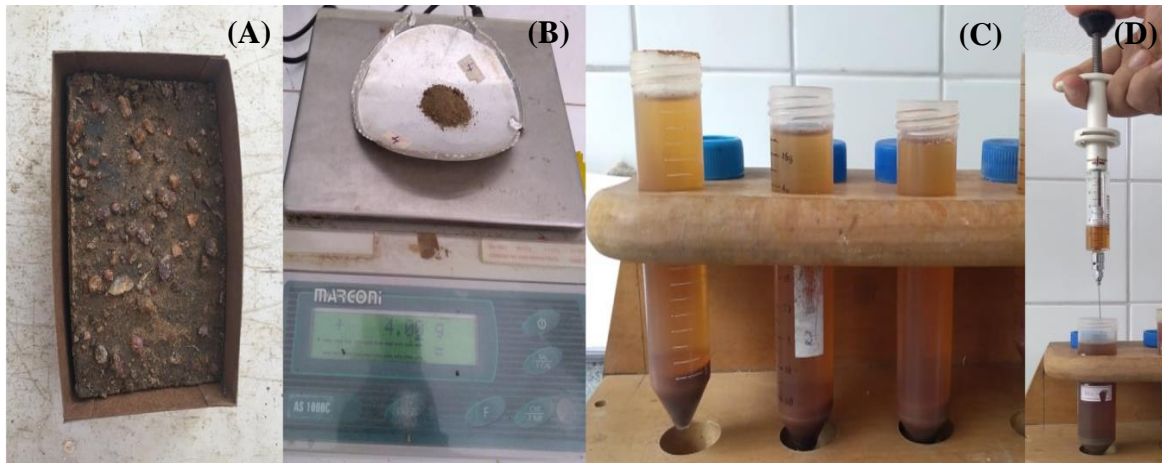


Figura 5. Procedimentos para realização textura pelo método da micropipeta. (A) Coleta das crostas na superfície em blocos; (B) pesagem; (C) adição de dispersante e sedimentação; (D) coleta de alíquota da suspensão.

O conteúdo da fração argila na amostra foi calculado pela seguinte equação.

$$\text{Argila} = \frac{V_t}{V_p} \cdot \frac{(M_a - M_b)}{M_{TFSE}} \cdot 100$$

em que: argila = teor de argila (%); V_t é o volume total (50 mL); V_p o volume pipetado (2,5 mL); M_a , a massa seca (105 °C) de argila em 2,5 mL da suspensão (g); M_b , a massa seca (105 °C) da prova em branco em 2,5 mL desta solução (g); e M_{TFSE} , a massa (g) de terra fina seca em estufa (105 °C).

Após coleta da alíquota para determinação da fração argila, a fração areia foi determinada por peneiramento em malha com 53 μm de abertura, e a fração silte calculada pela diferença entre o total de partículas na TFSE e a soma das frações areia e argila.

$$\text{Areia} = \left(\frac{\text{Massa de areia (g) seca a } 105 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Massa de TFSE (g)}} \right) \cdot 100$$

$$\text{Silte} = 100 - (\% \text{ Areia} + \% \text{ Argila})$$

Conforme a quantificação da granulometria foi realizada a classificação textural das crostas pelos dois métodos a partir do triângulo textural (Figura 6) descritas em Santos et al. (2005) e pelo programa computacional Texture AutoLookup - TAL, versão 4.2 (TAL, 2008).

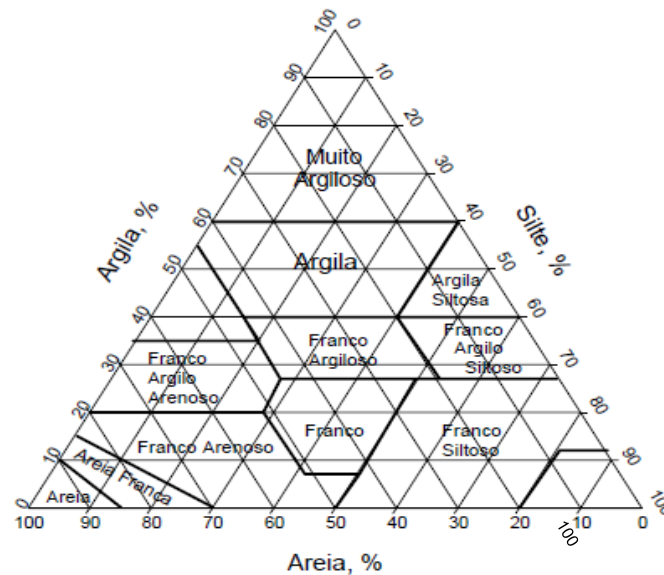


Figura 6 - Triângulo de classificação textural de solos segundo Santos et al. (2005).

3.11 Estabilidade de agregados dos solos

A separação dos agregados secos para determinação do diâmetro médio ponderado por via seca (DMPAs) foi realizada através de amostras com 50 g de agregados e com diâmetro inferior a 9,52 mm. Posteriormente, foram passadas em diferentes peneiras com malha de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,106 e 0,053 mm com auxílio de um vibrador Produtest, por um minuto conforme a metodologia descrita por Silva e Mielniczuk (1997).

Para a separação dos agregados por via úmida e a determinação do diâmetro médio ponderado por via úmida (DMPAu), foi adotada a metodologia descrita por Tisdall et al. (1978), modificada por Carpenedo e Mielniczuk (1990). Para esta determinação utilizou-se amostras de 50 g de agregados, inseridos em um funil de papel filtro contendo lâmina d'água suficiente para o umedecimento por capilaridade. Após 16 horas as amostras foram colocadas dentro de um balde acoplado a um agitador vertical a 42 oscilação por minuto durante 15 minutos e o material retido em cada peneira (2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,106 e 0,053 mm) foi transferido, com auxílio de jatos de água, para latas, as quais foram levadas à estufa a 105 °C para determinação da massa seca de terra retida em cada peneira.

Dessa forma, o índice de estabilidade em água das unidades estruturais do solo foi obtida utilizando a relação entre o diâmetro médio ponderado dos agregados úmidos e o diâmetro médio ponderado agregados secos (DMPAu/DMPAs), a qual seguiu os critérios descritos por Silva e Mielniczuk (1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características das variáveis hidráulicas do escoamento

De acordo com os dados da Tabela 3, são apresentadas as diferentes variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos, obtidos para os quatro testes de chuva, em Luvissole Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico (RLe), com e sem aplicação de gesso agrícola.

No TCo, sem aplicação de gesso agrícola, a viscosidade cinemática (ν) apresentou variação crescente dos valores até o teste 3, ocorrendo redução no teste 4. Com a aplicação do gesso, nota-se que os valores permaneceram relativamente constantes até o teste 3, com posterior aumento no teste 4. No RLe a viscosidade cinemática sem aplicação de gesso não se alterou durante os testes. Entretanto, com a aplicação de gesso a viscosidade aumentou de $8,5 \times 10^{-7}$ para $9,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ após quatro testes de chuva.

Esse fato pode ser justificado por esta variável ser dependente da temperatura da água (WANG, et al., 2016), que durante os testes de simulação variaram entre 24 e 28 °C. Avaliando a hidráulica do escoamento e transportes de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso (CANTALICE et al., 2005), encontraram valores de viscosidade cinemática de $8,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ dentro da faixa de valores encontrados no presente estudo. Em relação ao gesso agrícola, Horton et al. (2015), ressaltam que o mesmo possui solubilidade de $2,4 \text{ g L}^{-1}$ em água a 25 °C, possibilitando um ambiente dinâmico no solo mesmo sob eventos de precipitação pluvial infrequentes, típicos de climas áridos e semiáridos.

Em relação à velocidade média de escoamento (V_m) no TCo, e no RLe, sem aplicação de gesso, não houve modificações ao longo dos testes. Para o TCo quando aplicado gesso nota-se que a maior velocidade de escoamento ocorreu durante o teste 2 ($0,0182 \text{ m s}^{-1}$). A classe do RLe apresentou maior velocidade média de escoamento mesmo com a aplicação do gesso agrícola, onde os maiores valores encontrados foram no teste 1 ($0,0196 \text{ m s}^{-1}$) e teste 2 ($0,0190 \text{ m s}^{-1}$), demonstrando neste caso, a menor atuação do gesso nessa variável hidráulica. Freitas et al. (2008), estudando erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas em Luvissole Crômico Órtico Típico no semiárido pernambucano encontraram valores superiores de velocidade média de escoamento em solo descoberto ($0,091 \text{ m s}^{-1}$), seguidos de batata-doce ($0,068 \text{ m s}^{-1}$), feijão guandu ($0,037 \text{ m s}^{-1}$) e caatinga-arbustiva ($0,023 \text{ m s}^{-1}$).

Tabela 3. Caracterização das variáveis hidráulicas, obtidas em testes de chuva simulada sem e com aplicação de gesso agrícola utilizando Luvissole Crômico Órtico e Neossolo Litólico do semiárido paraibano

Luvissole Crômico Órtico (TCO)						
Variáveis	Unidade	Tratamentos	Testes			
			1	2	3	4
ν	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Sem	$8,5 \times 10^{-7}$	9×10^{-7}	$9,6 \times 10^{-7}$	$8,5 \times 10^{-7}$
		Com	$8,8 \times 10^{-7}$	$8,5 \times 10^{-7}$	$8,8 \times 10^{-7}$	9×10^{-7}
Vm	m s^{-1}	Sem	0,0154	0,0158	0,0159	0,01537
		Com	0,0177	0,0182	0,0171	0,0148
q	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Sem	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
		Com	$2,1 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
h	m	Sem	0,0014	0,0015	0,0015	0,0015
		Com	0,0011	0,0012	0,0013	0,0015
n	$\text{s m}^{-1/3}$	Sem	0,264	0,261	0,267	0,271
		Com	0,197	0,20	0,225	0,283
Re	Adimensional	Sem	26,4	26,3	26	27,3
		Com	23,5	26,6	26	25,4
Fr	Adimensional	Sem	0,12	0,13	0,12	0,12
		Com	0,16	0,16	0,14	0,12
τ	Pa	Sem	0,11	0,12	0,13	0,12
		Com	0,08	0,1	0,1	0,12

Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)						
Variáveis	Unidade	Tratamentos	Testes			
			1	2	3	4
ν	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Sem	$8,5 \times 10^{-7}$	$8,6 \times 10^{-7}$	$8,5 \times 10^{-7}$	$8,6 \times 10^{-7}$
		Com	$8,5 \times 10^{-7}$	$8,6 \times 10^{-7}$	$8,9 \times 10^{-7}$	$9,1 \times 10^{-7}$
Vm	m s^{-1}	Sem	0,0156	0,0147	0,0140	0,0141
		Com	0,0196	0,0190	0,0186	0,0175
q	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Sem	$2,1 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
		Com	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
h	m	Sem	0,0013	0,0014	0,0016	0,0016
		Com	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013
n	$\text{s m}^{-1/3}$	Sem	0,243	0,275	0,320	0,314
		Com	0,180	0,185	0,192	0,218
Re	Adimensional	Sem	24,3	24,7	27,8	27,1
		Com	27,4	25,6	24,8	25,2
Fr	Adimensional	Sem	0,13	0,12	0,1	0,11
		Com	0,18	0,17	0,17	0,15
τ	Pa	Sem	0,09	0,1	0,14	0,13
		Com	0,09	0,09	0,09	0,1

ν = viscosidade cinemática; Vm = velocidade média; q = descarga líquida por unidade de largura; h = altura da lâmina de escoamento; n = coeficiente de rugosidade de Manning; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude; τ = Tensão cisalhante do escoamento.

Para a descarga líquida por unidade de largura (q) praticamente não ocorreu variações ao longo dos testes nas duas classes de solos sem e com aplicação de gesso. Em relação a altura da lâmina de escoamento (h) observou-se menores valores para as duas classes de solo com a aplicação de gesso agrícola. Desse modo, o gesso agrícola promoveu

maior resistência físico-hidráulica ao escoamento, bem como menor movimentação de fluidos, refletindo em menores valores de lâminas de escoamento. Possivelmente, a floculação das argilas possibilitou maior agregação e menor perda de sedimentos pelo fluxo superficial (ROSA JÚNIOR et al., 2007).

O coeficiente de rugosidade de Manning (n), para o TCo sem aplicação de gesso permaneceu constante (0,26 - 0,27 s m^{-1/3}). Já em relação ao RLe, a rugosidade foi maior sem aplicação de gesso (0,24 a 0,31 s m^{-1/3}) do primeiro ao último teste de chuva. Nestas condições a rugosidade condicionada por agregados estáveis possibilita maior tempo de empoçamento e conseqüentemente maior volume infiltrado de água (MAIER et al., 2013). Entretanto, Panachuki et al. (2010) e Merten et al. (2001) ressaltam que incidências de chuvas sobre solo descoberto tendem a reduzir a rugosidade superficial, principalmente em função da energia desprendida pelo escoamento em superar as forças de resistência representado pela rugosidade, condicionada pela menor quantidade de energia disponível para os processos de desagregação e de transporte de sedimentos.

A análise do número de Reynolds (Re) permite observar a ocorrência de regime laminar (< 500) para todos os testes de simulação de chuva com e sem aplicação de gesso para as duas classes de solos. A análise do número de Reynolds indica qual tipo de regime ocorre em dadas condições, onde o valor de referência encontra-se abaixo ou acima de 500 (adimensional), indicando que o regime pode ser laminar ou turbulento (SILVA et al. 2011). Resultados semelhantes foram relatadas por Freitas et al. (2008) em Luvisolo Crômico Órtico com e sem presença de cobertura no estado de Pernambuco.

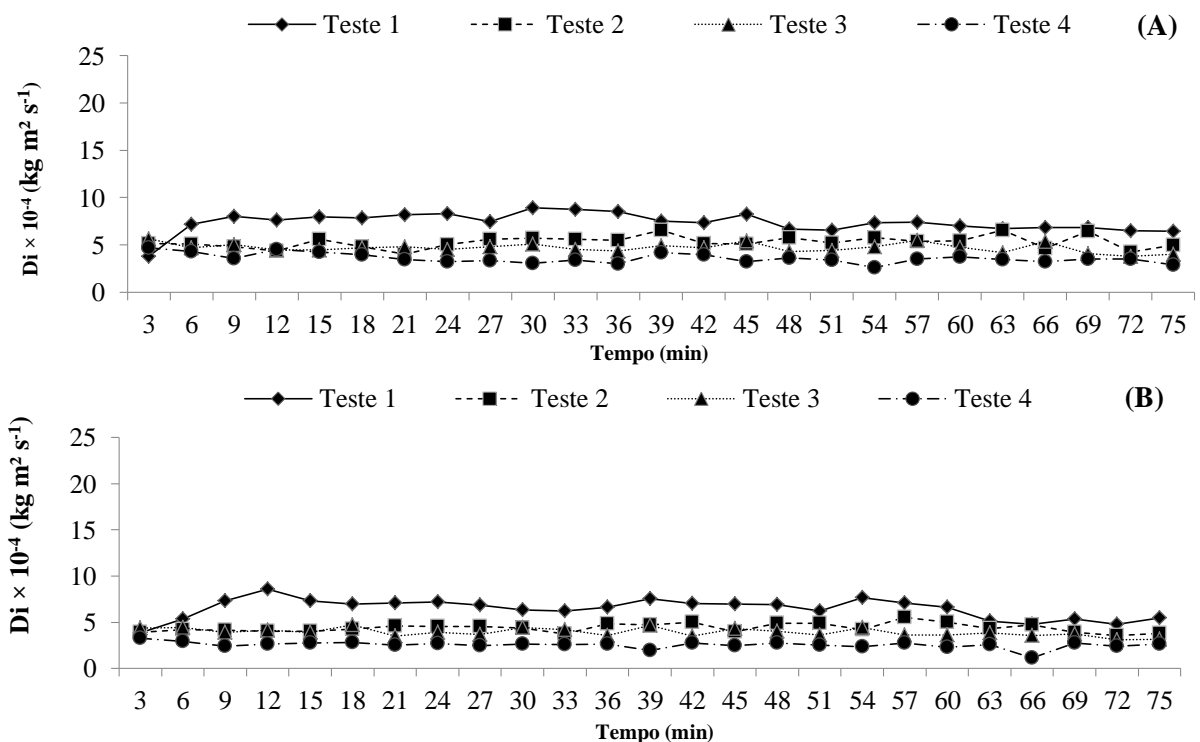
Os valores referentes ao número de Froude (Fr) são propostos como constante relacionada com formação de sulcos, onde escoamentos com valores de 1,2 caracterizam a formação de sulcos em solos arenosos, enquanto que o valor 2,8 indica a formação de sulcos em solos de textura argilosa (SLATTERY e BRYAN, 1992; BEZERRA et al., 2010). Os solos TCo e RLe apresentaram escoamento subcrítico ($Fr < 1$) com e sem aplicação de gesso. Cassol et al. (2004), também observaram número de Froude menor que 1, ao avaliarem escoamento superficial e desagregação em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. Bezerra et al. (2010), estudando características hidráulicas da erosão em sulcos de um Cambissolo no semiárido do Brasil encontraram valores de Fr acima de 2, em todas as vazões aplicadas evidenciando a formação de erosão em sulcos.

A tensão cisalhante do escoamento (τ) é definida como a força hidráulica requerida para iniciar o desprendimento das partículas do solo (BARBOSA e LIMA, 2013; ENRIQUEZ et al., 2015). O maior valor de tensão cisalhante foi obtido no teste 3 sem

aplicação de gesso (0,14 Pa) para o RLe, embora os outros valores foram muito próximos. Esse fato deve-se a baixa coesão que o RLe possui o que favorece a maior desagregação das partículas do solo em função da energia cinética das gotas de chuva (OLIVEIRA et al., 2013; VAEZI et al., 2017). Para Brandão et al. (2007), a tensão crítica de cisalhamento é dependente das características do solo como granulometria, constituição mineralógica e química, de modo que a redução da condutividade hidráulica e da taxa de infiltração leva ao aumento da tensão cisalhante do escoamento superficial, e conseqüentemente aumento na perda de solo.

4.2 Taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (D_i)

Na Figura 7, são apresentadas as taxas de desagregação para os solos TCo e RL ao longo de quatro testes de chuva, com e sem aplicação de gesso agrícola. As maiores taxas de desagregação em entressulcos para o TCo e RLe foram obtidas no teste 1 nos dois tratamentos (Figura 7A e 7B). Para o TCo a maior taxa de desagregação foi de $8,9 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no tratamento sem aplicação de gesso (Figura 7A) e menor taxa no teste 4 com aplicação de gesso ($1,15 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 7B). O RLe seguiu a mesma tendência com maior taxa de desagregação no teste 1 ($21,5 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com aplicação de gesso e menor taxa no teste 4 sem aplicação de gesso ($2,01 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 7C e 7D).



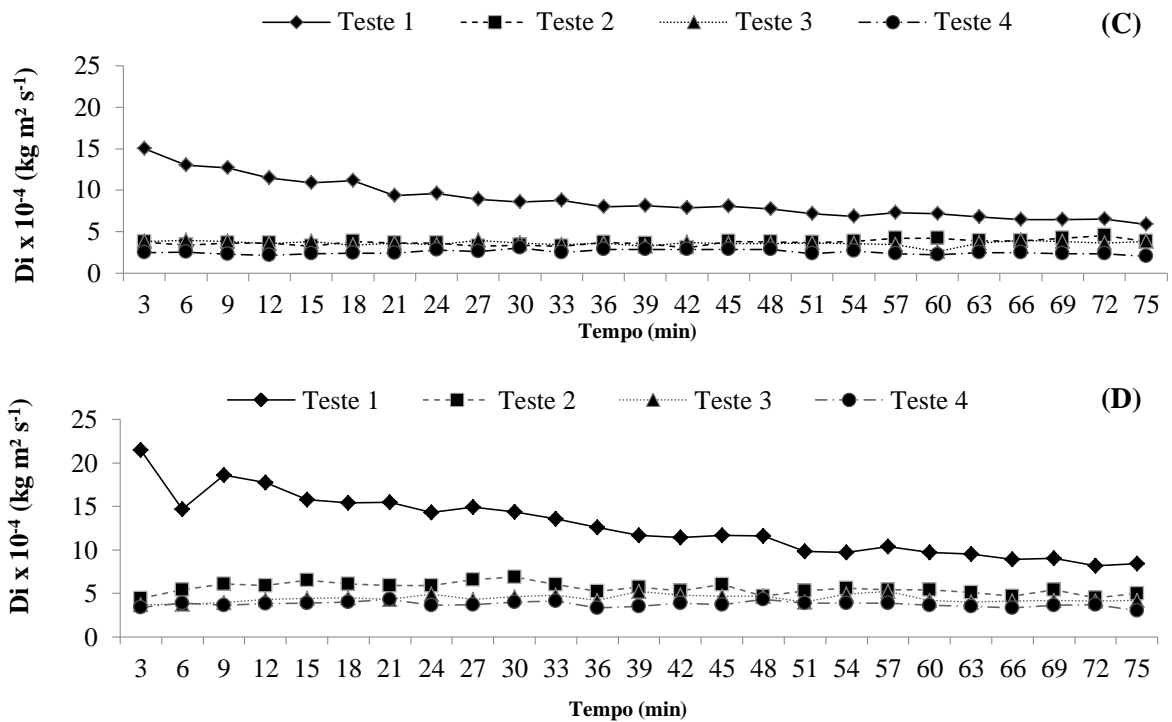


Figura 7. Taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (D_i), para os testes realizados com Luvisolo Crômico Órtico (TCO) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLE) em condições de laboratório. (A) TCO sem aplicação de gesso agrícola; (B) TCO com aplicação de gesso agrícola; (C) RLE sem aplicação de gesso agrícola; (D) RLE com aplicação de gesso agrícola.

O RLE por apresentar textura franco-arenosa possui maior susceptibilidade a erosão, em função da baixa coesão das partículas do solo, proporcionando maiores taxas de desagregação (FRANCO et al., 2012). Assim, como baixa presença de matéria orgânica e tipo de cátions (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) presentes na água da chuva que influenciam na dispersão das argilas (CALERO et al., 2008; ABID e LAL, 2009). Portanto, quando ocorre a neutralização do Al trocável, íon que estabiliza a estrutura do solo, e a elevação do pH do solo, que, na faixa de pH menor que 7,0 tem ação dispersante (JUCKSCH, 1987; PAVAN e ROTH, 1992), contribuem para a dispersão do solo em partículas unitárias. Esses fatores são determinantes sobre a espessura da dupla camada difusa, que influencia a dispersão e floculação de partículas. A espessura da dupla camada difusa também pode ser alterada pela concentração e tipo de eletrólitos (íons Na, K, etc.), pois são cátions com alto grau de hidratação que formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas; desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema dispersa (MEURER, 2006). Contudo, os baixos valores de matéria orgânica a exemplo dos solos deste estudo promovem efeitos dispersivos gerados pelas cargas negativas que aparecem antes do efeito estabilizante nos agregados do solo, ou seja, um pequeno teor de

matéria orgânica favorece a dispersão e um alto teor facilita a floculação (IGWE, 2005; SIQUEIRA et al., 2014).

Além disso, possivelmente as diferenças observadas entre os testes de chuva são decorrentes de condições relativas da resistência do solo em relação ao destacamento e ao transporte, uma vez que todos os tratamentos se encontravam com as mesmas condições, ou seja, sem cobertura, com a mesma umidade antecedente (24 horas), a mesma densidade de empacotamento ($1,2 \text{ Mg m}^{-3}$) e com o mesmo declive ($0,10 \text{ m m}^{-1}$).

Apesar das maiores taxas de desagregação no primeiro teste serem observadas no tratamento com aplicação de gesso para o RLe de maneira geral, o gesso agrícola promoveu ao longo dos demais testes menores taxas de desagregação para os dois solos estudados. O gesso agrícola quando aplicado aumenta a concentração de eletrólitos da água que infiltra no solo (FAVARETTO et al., 2006; MATOS et al., 2014). Essa solução mais concentrada comprime a dupla camada elétrica, fornecendo cálcio no complexo de troca, favorecendo a floculação das partículas, reduzindo as taxas de desagregação ao longo dos testes (DONTSOVA e NORTON, 2002).

Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2012), avaliando a susceptibilidade a erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo de solos, foi observado que os menores valores de desagregação foram em mata nativa ($1,0 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$) no início da simulação. Franco et al. (2012), verificaram que as menores taxas de desagregação do solo em entressulcos ocorreram no período inicial da chuva, aumentando até o minuto 75, com posterior decréscimo.

4.3 Perdas totais de solo em entressulcos (PS_i)

Os dados de perdas totais de solo em entressulcos (PS_i) para os quatro testes de chuva, em Luvisolo Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico (RLe) sem e com aplicação de gesso agrícola são descritos na Figura 8. Para o TCo a maior perda de solo foi no tratamento sem aplicação de gesso ($68,53 \times 10^{-4} \text{ Kg m}^{-2}$) (Figura 8A) e a menor no teste 4 com aplicação de gesso ($1,76 \times 10^{-4} \text{ Kg m}^{-2}$) aos 39 minutos de simulação de chuva (Figura 8B). Em relação ao RLe a maior perda ocorreu no teste 1 ($177,7 \times 10^{-4} \text{ Kg m}^{-2}$) com aplicação de gesso (Figura 8D) e para os demais testes com e sem aplicação de gesso as médias foram uniformes até o fim da chuva simulada (Figura 8C e 8D).

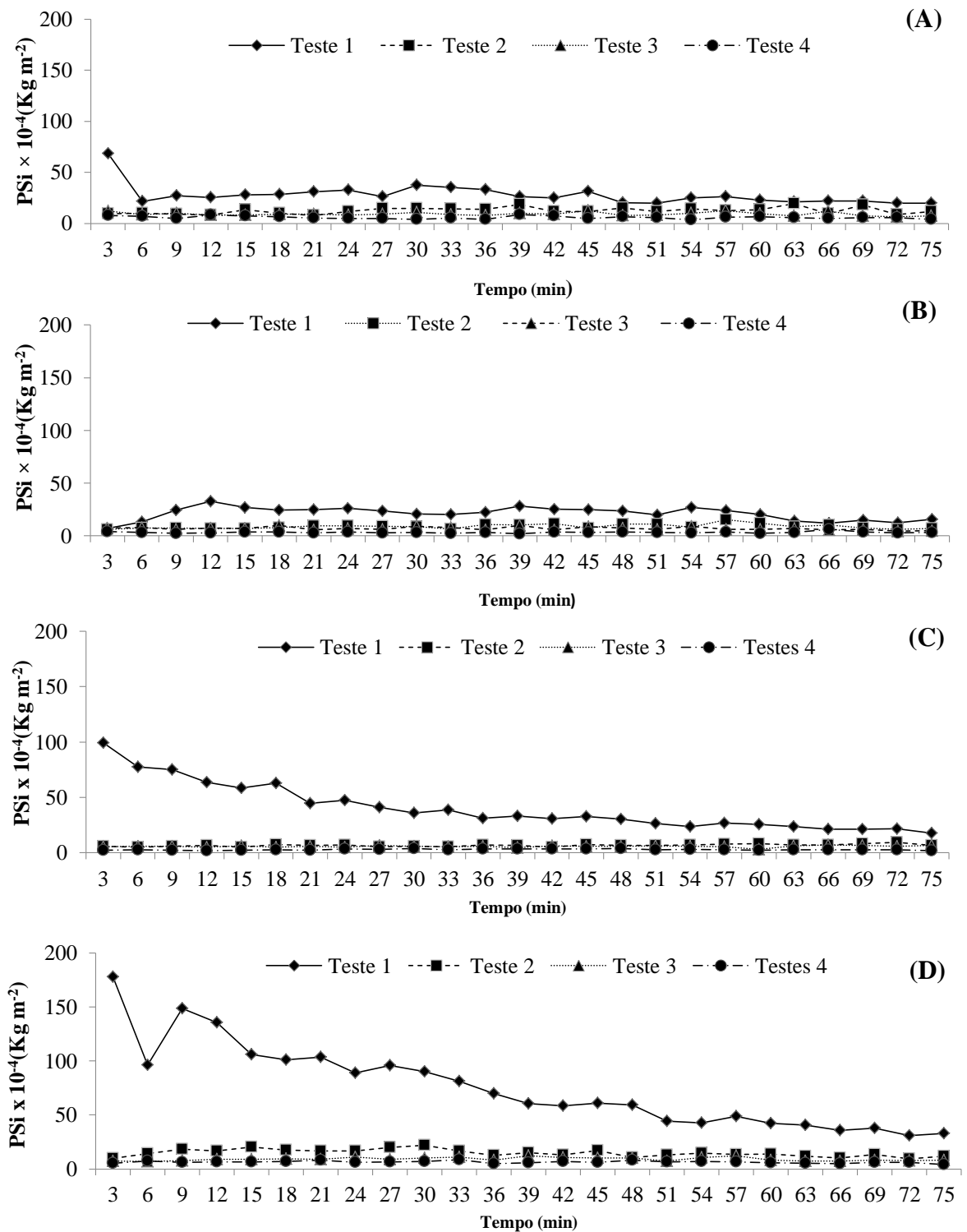


Figura 8. Perdas totais de solo entressulcos (PS_i), para os teste realizados com Luvisolo Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) em condições de laboratório. (A) TCo Sem aplicação de gesso agrícola; (B). TCo Com aplicação de gesso agrícola; (C) RLe Sem aplicação de gesso agrícola; (D) RLe Com aplicação de gesso agrícola.

As perdas de solos correspondem ao somatório entre a desagregação das partículas do solo em função do impacto e fluxo da gota de chuva, observando maiores valores de perda de solo nos eventos com maiores valores de escoamento superficial (COSTA et al., 2015). Esse impacto desagrega as partículas do solo e diminui a

macroporosidade, assim o escoamento da água é intensificado, a rugosidade da superfície diminui e há um conseqüente aumento na produção e transporte de sedimentos (CARVALHO et al., 2015). Além disso, o aumento progressivo das perdas de solo é conseqüência do aumento da tensão cisalhante, devido a redução da infiltração em virtude da superfície selada (CARDOSO et al., 2012).

Em trabalho realizado por Peng et al. (2012), avaliando os efeitos do uso e cobertura da terra, regime de chuvas no escoamento superficial e perda de solo, os autores concluíram que a intensidade de variação de chuvas superiores a 30 mm h^{-1} pode induzir a grande escoamento superficial, acarretando a elevadas perdas de solo. Almeida et al. (2016) estudando o efeito da cobertura vegetal na erosão sob chuva simulada em diferentes sistemas de cultivo, observou que as perdas de solo variaram de 3,10 a $11,40 \text{ Mg ha}^{-1}$ em solo exposto.

Estudos nesse sentido são de suma importância para evitar o uso indiscriminado do solo. Avaliando sistemas de preparo, infiltração de água e perdas de solo sob chuva simulada na cultura do milho, Carvalho et al. (2015), verificaram que no preparo do solo em nível houve melhorias nas propriedades físicas do solo, favorecendo redução do processo erosivo em 59,7% na perda de solos e 86,6% na perda de água, além de aumento na taxa de infiltração em 223,3%, em relação ao tratamento em solo exposto.

4.4 Erodibilidade

A erodibilidade em entressulcos (K_i) (Figura 9) o tratamento com aplicação de gesso reduziu as taxas de erodibilidade ao longo dos testes nas duas classes de solo. O TCo apresentou maior erodibilidade no teste 2 sem aplicação do gesso ($5,86 \times 10^{-5} \text{ kg s m}^{-4}$) e menor no teste 4 com a aplicação do gesso ($2,02 \times 10^{-5} \text{ kg s m}^{-4}$). Já o RL apresentou inicialmente maior média de K_i no teste 1 com a aplicação de gesso ($6,53 \times 10^{-5} \text{ kg s m}^{-4}$), porém, esse valor decresceu com o passar dos testes, atingindo a menor erodibilidade no teste 4.

A presença de cátions de caráter trocável na CTC do solo, especialmente o Ca^{2+} , Na^{2+} e Mg^{2+} exercem papel importante na floculação e dispersão de argilas. No caso dos solos utilizados nesse estudo sabe-se que o Ca^{2+} oriundo da aplicação de gesso agrícola demonstra ter influência sobre os processos de dispersão e floculação através das relações entre os cátions e a CTC do solo. Os menores valores de erodibilidade dos solos quando aplicado gesso agrícola possivelmente ocorrem em função da presença do cátion Ca^{2+} no complexo de troca e na solução do solo, quando hidratado, condiciona a formação de

complexos de esfera interna cujo raio de hidratação é pequeno e, com isso, ocorre a compressão da dupla camada difusa, favorecendo a aproximação das argilas e o processo de floculação.

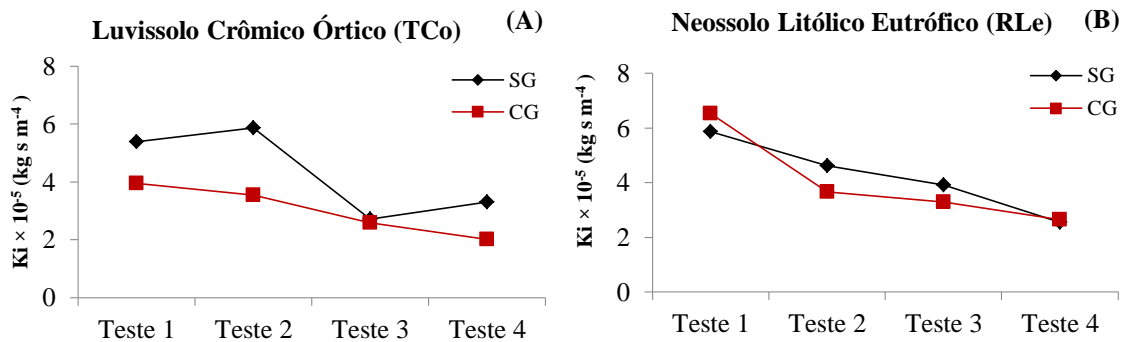


Figura 9. Erodibilidade de solos em entressulcos (Ki), para Luvisolo Crômico Órtico (A) e Neossolo Litólico Eutrófico (B), sem aplicação de gesso agrícola (SG) e com aplicação de gesso agrícola (CG).

Erodibilidade é a perda de solo por unidade de força erosiva ou mesmo escoamento superficial em solos mantidos descobertos (ANACHE et al., 2015). Os valores de erodibilidade encontrados nesse estudo, possivelmente foram influenciados pela textura (franco-arenosa de ambos os solos), baixa coesão entre as partículas e pelas mudanças nos teores de matéria orgânica, reduzindo a estabilidade dos agregados e aumentando o transporte de sedimentos sólidos pelo escoamento superficial (EDUARDO et al., 2013).

Além disso, Amorim et al. (2010) ressaltam que fatores como declividade, precipitação, cobertura vegetal e manejo afetam a erodibilidade em função da permeabilidade do solo, capacidade de armazenamento de água, composição mineralógica da textura, reserva de nutrientes, lixiviação de íons, tipo e grau de estrutura. Sendo os valores de erodibilidade específicos para cada classe de solo (BRONICK e LAL, 2005; NUNES e CASSOL, 2011; BONILLA e JOHNSON, 2012).

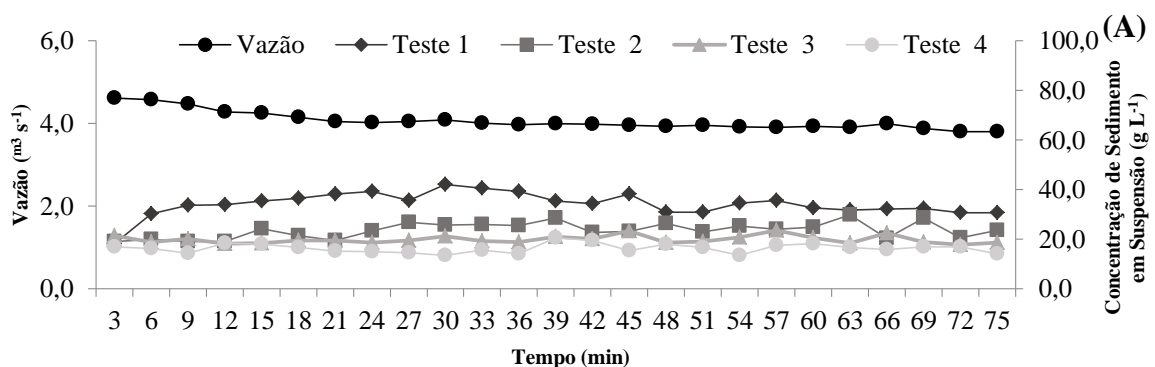
Trabalhando com doses de gesso agrícola, Rosa Júnior et al. (2007), concluíram que o gesso pode atuar como condicionador das estruturas do solo, favorecendo a agregação, reduzindo a erodibilidade, fato esse também observado nessa pesquisa. Dessa forma, agregados estáveis contribuem para a melhoria da porosidade, aumentando a infiltração e resistência a erosão (MATOS et al., 2008). Por outro lado, os óxidos de ferro (Goethita e hematita) e de alumínio (gipsita) funcionam como agentes floculantes, diminuindo a coesão entre as partículas e, conseqüentemente, modificando a estrutura e permeabilidade do solo. Ainda neste sentido, o Ca²⁺ juntamente com óxidos formam pontes entre partículas de argila, aumentando a cimentação após precipitação como gel na superfície.

Em pesquisa realizada por Morais et al. (2017), avaliando a estimativa do potencial natural de erosão dos solos no Piauí com uso de sistema de informação geográfica, foi observado valores de erodibilidade de $0,038 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para Luvisolo Crômico Órtico e $0,036 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para Neossolo Litólico distrófico, onde as duas classes se encaixaram em níveis de erodibilidade moderada. Aquino e Oliveira et al. (2017), avaliando associações de solos do estado do Piauí descritas por Jacomine (1986), estimaram valores de erodibilidade que variaram $0,010$ a $0,056 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ em Neossolos Litólicos e entre $0,030$ a $0,048 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para Luvisolos.

Para o estado da Paraíba poucos valores de erodibilidade foram relatados. Dias e Silva (2015), avaliando a estimativa do risco de erosão no município de Lucena, encontraram valores de $0,042 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para Neossolo Flúvico, enquanto que para Espodossolo Hidromórfico apresenta valores de $0,014,042 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$

4.5 Concentração de sedimento em suspensão

A figura 10 corresponde a relação da vazão e concentrações de sedimentos, para os solos TCo e RLe em diferentes testes de chuva com e sem aplicação de gesso agrícola. Observou-se que a vazão manteve-se relativamente constante em todos os testes de chuva com e sem aplicação de gesso para as duas classes. A concentração de sedimentos foi superior no teste 1 em todos os tratamentos. Para o TCo a maior concentração foi encontrada aos 30 minutos de chuva simulada sem aplicação de gesso ($42,08 \text{ g L}^{-1}$) e menor aos 66 minutos com aplicação de gesso ($5,29 \text{ g L}^{-1}$). No geral, o solo RLe sem aplicação de gesso teve a maior concentração de sedimentos aos 3 minutos de simulação ($82,47 \text{ g L}^{-1}$); posteriormente, os valores foram decrescentes com o decorrer do tempo de simulação até se manter estável.



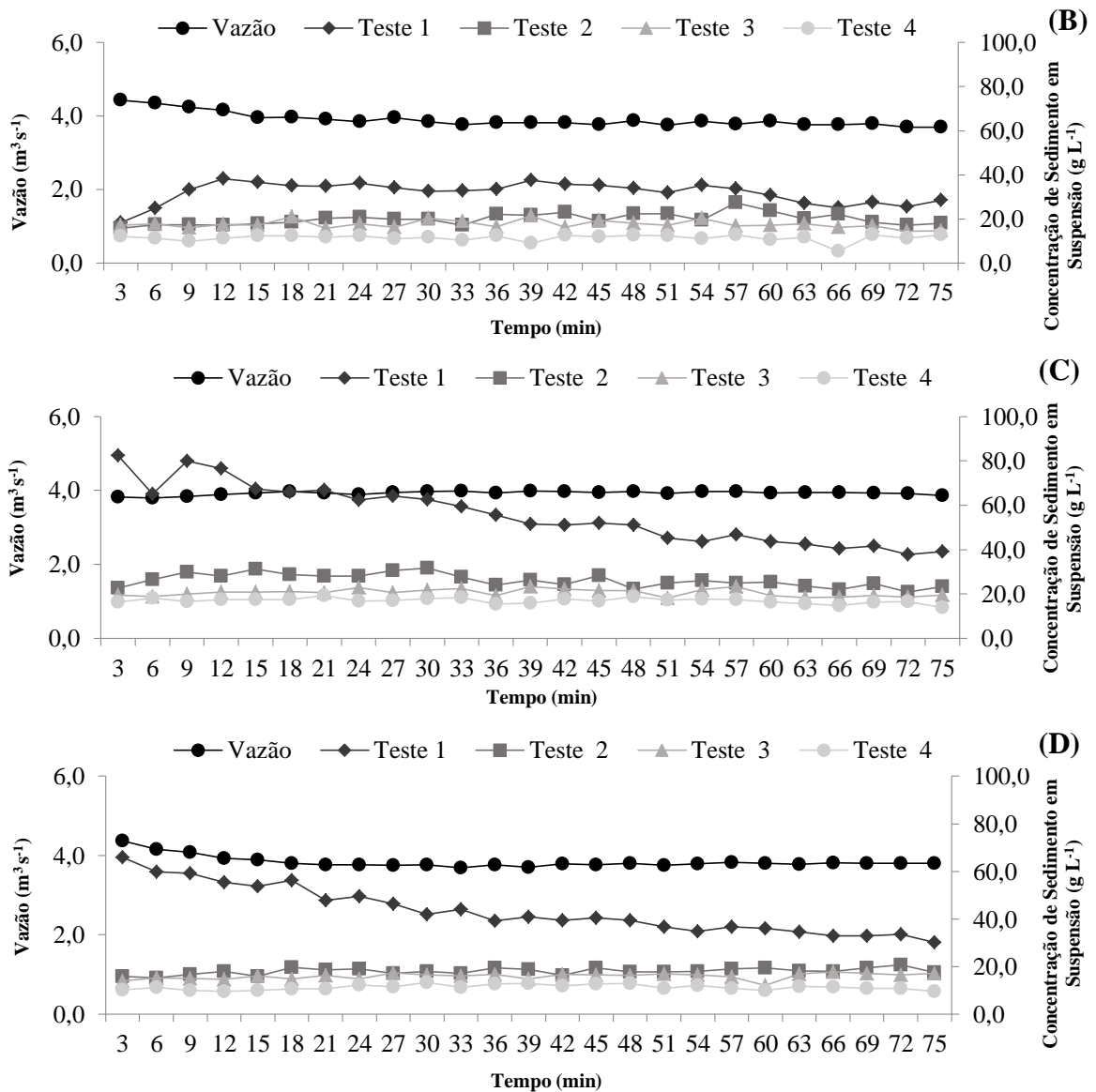


Figura 10. Distribuição temporal do escoamento superficial e concentração de sedimento em suspensão em Luvossolo Crômico Órtico e Neossolo Litólico Eutrófico com e sem aplicação de gesso agrícola em diferentes testes de chuva sob condições de laboratório. (A) TCo sem aplicação de gesso agrícola; (B) TCo com aplicação de gesso agrícola. (C) RLe sem aplicação de gesso agrícola; (D) RLe com aplicação de gesso agrícola.

As elevadas concentrações de sedimentos no teste 1 é resultado do transporte seletivo dos sedimentos prontamente disponíveis mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos principalmente, de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2010). Isso confirma que a quantidade de sedimentos ao final dos testes diminui com a redução do diâmetro das partículas do solo que compõem tais sedimentos.

Para Oliveira et al. (2012b), a capacidade de transporte pelo processo de erosão é limitado pelo suprimento de sedimentos representado pela fase de destacamento do solo pela chuva. Além disso, os agregados superficiais que resistem à desagregação criam uma

condição de maior rugosidade superficial que, por sua vez, altera a hidráulica do escoamento no sentido de diminuir a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento. Esses resultados foram verificados nessa pesquisa, com as menores concentrações de sedimentos em função dos testes de chuva.

Avaliando o efeito do solo sobre o regime hídrico e a produção de sedimentos em um solo de Santa Catarina, Perazzoli et al. (2013), observaram que a vazão média diária anual foi maior no cenário com solo exposto, sendo esse aumento atribuído à redução da infiltração de água no solo e ao aumento do escoamento superficial. Dessa maneira, estudos com o objetivo de prever e reduzir a dinâmica de perdas de sedimentos em função de manejos adotados no solo (SOUZA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; CARVALHO et al., 2015), tem recebido grande importância da comunidade acadêmica.

4.6 Taxa de desagregação (D_i) e rugosidade superficial (n)

As Figuras 11 e 12 representam a distribuição temporal da taxa de desagregação (D_i) e rugosidade superficial (n) avaliado para o TCo e RLe sem e com aplicação de gesso agrícola. No TCo sem aplicação de gesso observou-se os maiores valores de rugosidade, assim como redução das taxas de desagregação com o avançados testes. Já com aplicação de gesso a rugosidade foi crescente do teste 1 para o teste 4 com dos testes de chuva, atingindo a maior rugosidade e a menor taxa de desagregação no teste 4 aos 30 minutos ($0,32 \text{ s m}^{-1/3}$; $2,3 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente). No RLe sem aplicação de gesso foram observados os maiores valores de rugosidade no teste 3 ($0,33 \text{ s m}^{-1/3}$), e menor taxa de desagregação no teste 4 ($2,0 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$). Em relação a aplicação de gesso, foi observado que os valores de rugosidade foram maiores no teste 4 ($0,24 \text{ s m}^{-1/3}$), bem como menor taxa de desagregação ($3 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$).

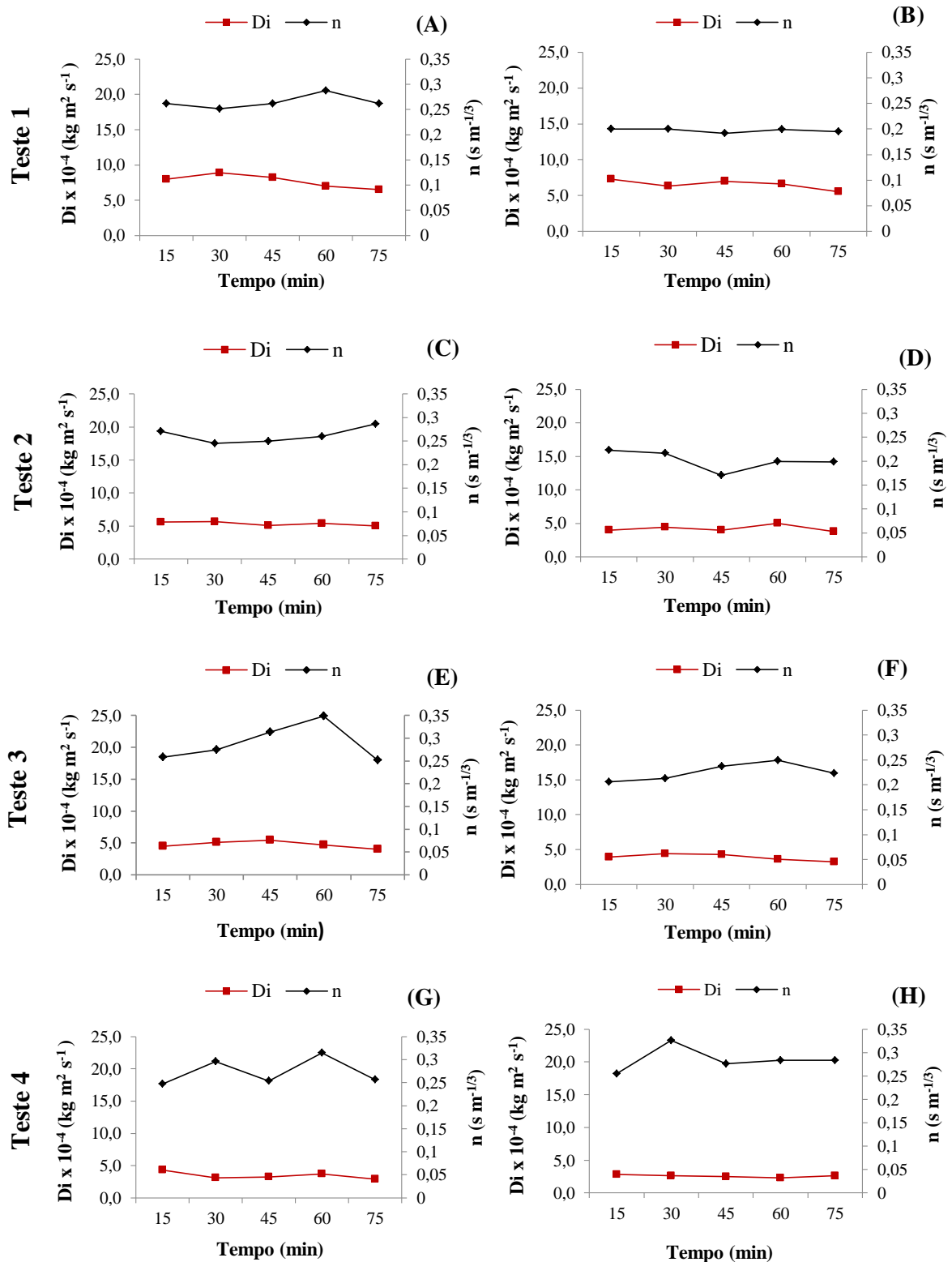


Figura 11. Distribuição temporal da taxa de desagregação (Di) e rugosidade superficial (n) avaliado para Luvisol Crômico Órtico (TCo) com e sem aplicação de Gesso agrícola em diferentes testes de chuva sob condições de laboratório. Teste 1(TCo) – sem aplicação de gesso (A), com aplicação de gesso agrícola (B); Teste 2(TCo) – sem aplicação de gesso (C), com aplicação de gesso agrícola (D); Teste 3(TCo) – sem aplicação de gesso (E), com aplicação de gesso agrícola (F); Teste 4(TCo) – sem aplicação de gesso (G), com aplicação de gesso agrícola (H).

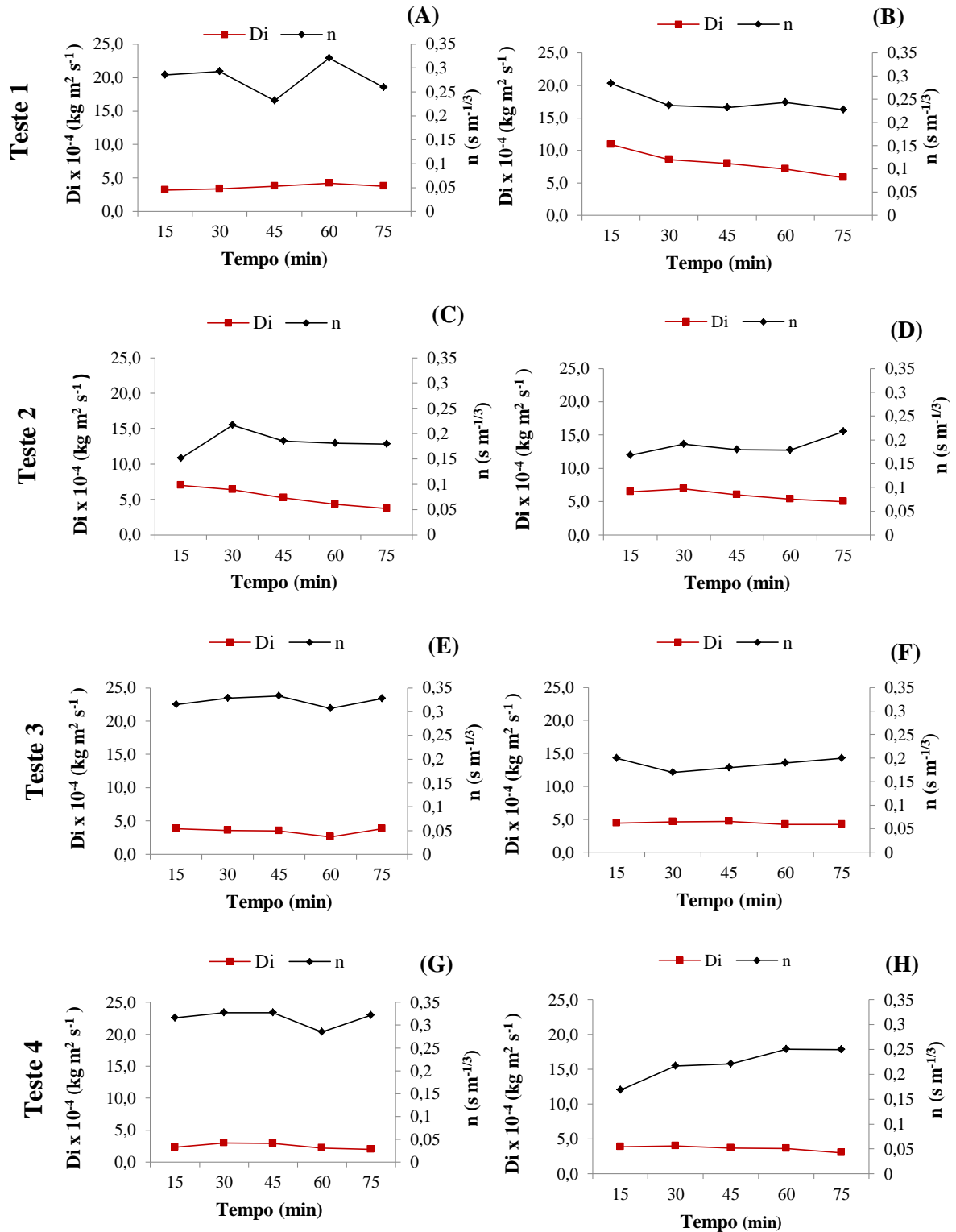


Figura 12. Distribuição temporal da taxa de desagregação (Di) e rugosidade superficial (n) avaliado para Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) com e sem aplicação de Gesso agrícola em diferentes testes de chuva sob condições de laboratório Teste 1(RLe) – sem aplicação de gesso (A), com aplicação de gesso agrícola (B); Teste 2(RLe) – sem aplicação de gesso (C), com aplicação de gesso agrícola (D); Teste 3(RLe)– sem aplicação de gesso (E), com aplicação de gesso agrícola (F); Teste 4(RLe) – sem aplicação de gesso (G), com aplicação de gesso agrícola (H).

A rugosidade da superfície do solo, ou microrrelevo, refere-se às diferenças nas medidas de alturas na superfície do solo a distâncias relativamente pequenas, sendo alterada com o passar de eventos chuvosos e praticas de manejo (PANACHUKI et al., 2010). A diminuição da rugosidade sofre influência do volume e intensidade de enxurradas, bem como pela densidade e porosidade do solo, reduzindo a estabilidade de agregados em água e aumentando o volume de carga de sedimentos (BERTOL et al., 2007).

De acordo com o trabalho de Agassi et al. (1982), utilizando chuva simulada, mencionam que a quantidade de gesso de 5 Mg ha⁻¹ foi suficiente para reduzir o escoamento superficial em 43%. Os autores mencionam que o gesso contribui com quantidades consideráveis de Ca-eletrólitos para a solução do solo, que previne a dispersão química das argilas. Além disso, o gesso pode aumentar ao longo dos testes de chuva a condutividade elétrica em um nível adequado para melhorar a floculação das argilas, o que, por consequência, melhora a agregação do solo e reduz o escoamento superficial. Dessa forma, o gesso promove redução da erosão em menor volume do escoamento superficial, aumento da rugosidade da superfície do solo e da tortuosidade dos trajetos do fluxo, o que, consequentemente, reduz a perda do solo indiretamente ao longo do tempo (FAVARETTO, 2006).

Os solos em estudo apresentam ampla variação em suas características químicas, físicas e mineralógicas, consequentemente ocorrem variações nos valores de rugosidade e desagregação, que são influenciados pela textura, quantidade e tipos de argilas presentes, valores baixos de matéria orgânica, assim como de soma de bases e grau de floculação. O TCo, por apresentar argilas do tipo 2:1 correspondem a uma maior reatividade (coesão), que proporcionam uniões entre partículas reduzindo a dispersão das argilas (JORDANOVA et al., 2013). Já o RL possui maior predomínio de minerais do tipo 1:1, contribuindo para uma textura mais arenosa, assim como menor CTC e baixos teores de matéria orgânica, induzindo a dispersão dos agregados e, em seguida, aumentando a desagregação (NEVES et al., 2011).

Avaliando a rugosidade da superfície do solo sob praticas de cultivos e suas consequências para perda de água e sedimentos, Rocha Júnior et al. (2016), relataram que os manejos de contorno e plantio direto foram mais eficazes em manter maior rugosidade em função de maiores depósitos de serapilheiras no plantio direto, enquanto que as faixas em contorno proporcionaram menores valores de erosão, quando comparados a solos sem cobertura. Dala Rosa et al. (2013) avaliando a evolução da rugosidade do solo em diferentes sistemas de preparo sob chuva simulada, verificaram que o aumento inicial da

rugosidade pode ser atribuído a fragmentação de agregados ou torrões maiores presentes na superfície do solo.

Avaliando a rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo em função de chuva artificial, Panachuki et al. (2010), observaram valores de rugosidade entre 1,88 e 5,41 mm na semeadura direta entre 3,88 e 8,30 mm no preparo convencional e entre 8,99 e 17,45 mm, no cultivo mínimo. Os baixos valores de rugosidade no preparo convencional devem-se, basicamente, ao efeito desagregador promovido pela ação do preparo secundário, promovendo, com isso, maior destruição dos agregados na superfície.

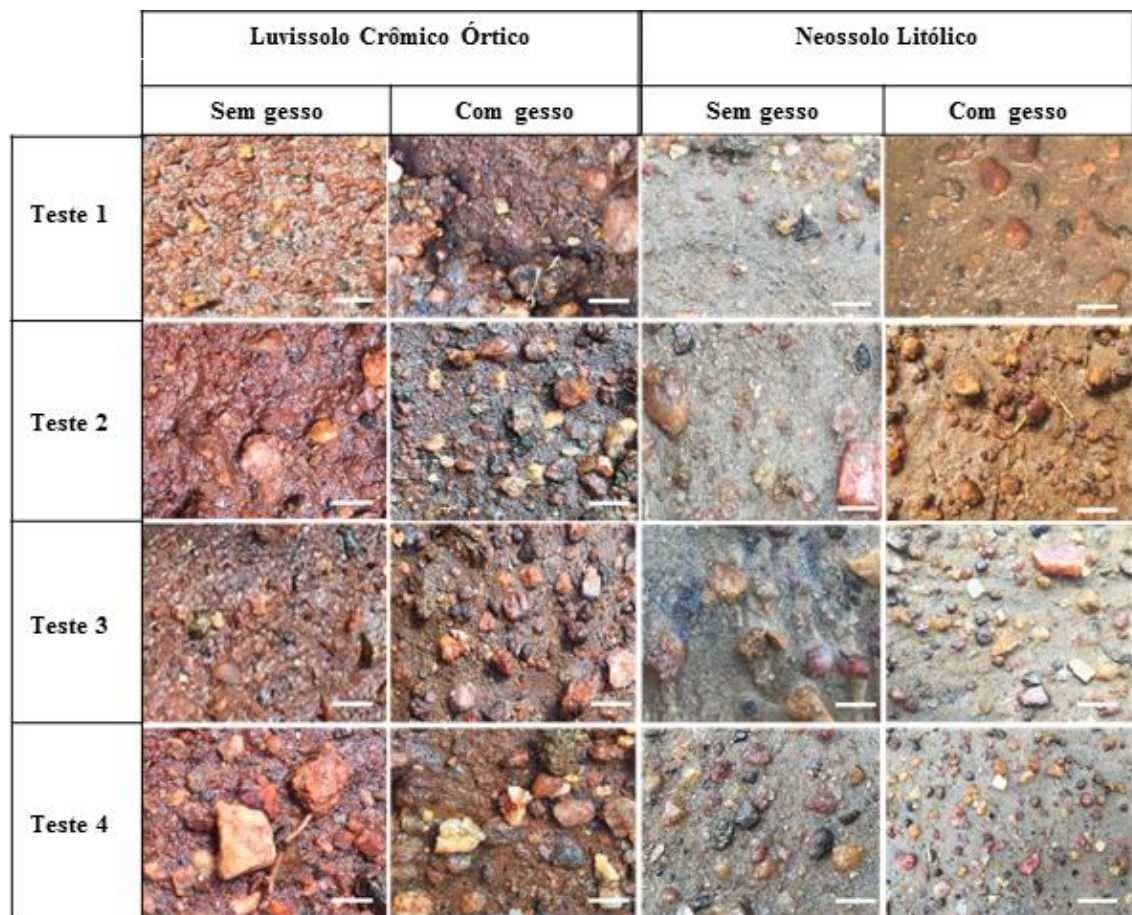


Figura 13 Visão da superfície das parcelas de um Luvissole Crômico Órtico (TCO) e Neossolo Litólico (RL) com e sem aplicação de gesso em diferentes testes de chuva. Barra=20mm.

4.7 Estimativa do encrostamento superficial pela avaliação da resistência à penetração

Os resultados apresentados na Tabela 4 correspondem a presença do encrostamento superficial em TCO e RLe em função da resistência a penetração em diferentes testes de chuva com e sem aplicação de gesso agrícola. Verifica-se que para ambas as classes de solos, o tratamento sem aplicação de gesso obteve a menor resistência

à penetração. No TCo, o teste 3 apresentou menor resistência a penetração (0,40 Kg cm⁻²), sem aplicação de gesso, antes e após o teste de chuva. Considerando o RL, a menor resistência foi observada no teste 4 sem aplicação de gesso (0,47 Kg cm⁻²), antes da chuva.

Tabela 4. Avaliação do encrostamento superficial em duas classes de solos determinado pelo método de resistência do solo ao penetrômetro de bolso antes e após diferentes testes de chuvas simuladas.

Luvissole Crômico Órtico (TCo)			
Tratamentos	Testes	Antes	Após
		(kg cm ⁻²)	
Sem Gesso	1	<0,1	<0,1
	2	0,50	0,16
	3	0,40	0,15
	4	0,45	0,16
Com Gesso	1	<0,1	<0,1
	2	0,60	0,16
	3	0,58	0,17
	4	0,72	0,18
Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)			
Tratamentos	Testes	Antes	Após
		(kg cm ⁻²)	
Sem Gesso	1	<0,1	<0,1
	2	0,55	0,25
	3	0,50	0,22
	4	0,47	0,24
Com Gesso	1	<0,1	<0,1
	2	0,80	0,22
	3	0,90	0,21
	4	0,90	0,20

Diversas são as propriedades do solo influenciadas pela formação das crostas superficiais (CASTILHO et al., 2015). Dentre elas destaca-se a diminuição da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo, diminuição da rugosidade superficial, além do adensamento das camadas em superfície (CASTILHO et al., 2011; WANG et al., 2016; ALMAJMAIE, 2017). Assim, pode-se inferir que os valores do encrostamento superficial encontrados nas classes de solos são influenciados pela dispersão da fração argila, ação mecânica do impacto da gota de chuva sobre os agregados, fatores físicos e químicos, quantidade e tipo de cátion trocável presente, tipo de agentes cimentantes, matéria orgânica, óxidos de Fe e Al, composição mineralógica, força iônica da solução do solo e pH (MAIER et al., 2013; DALA ROSA et al., 2013)..

Uma possível justificativa para o efeito negativo do gesso sobre o encrostamento, seria que o efeito da obstrução dos poros foi superior ao efeito positivo da floculação das

argilas, considerando serem esses solos de textura franco-arenosa, com baixos teores de matéria orgânica. Apesar do gesso não ter promovido grandes efeitos sobre o encrostamento superficial, é possível que esses valores diminua com a aplicação de chuvas sucessivas. No entanto, de forma gradativa em função de sua solubilidade. Alguns trabalhos ressaltam os fatores negativos que o encrostamento superficial traz para o solo e para as culturas como verificado por Oliveira et al. (2012), Barbosa (2014), Kim et al. (2017), Almajmaie et al. (2017), Miranda et a. (2018) e Moura et al. (2018).

Ao estudarem a influência a curto prazo do selamento superficial na hidrologia em planaltos na Hungria Jakab et al. (2013), reportam que uma única chuva foi suficiente para promover o selamento superficial em um Cambissolo sem vegetação, resultando em menor taxa de infiltração de água, maior densidade do solo e menor rugosidade superficial do solo.

Ao estudarem a aplicação do gesso e resíduos orgânicos para redução de encrostamento superficial em diferentes dosagens, Almajmaie et al. (2017), notaram que a aplicação de $7,5 \text{ kg m}^{-2}$ de gesso agrícola reduziu significativamente a densidade do solo em 7% e a resistência à penetração em 26%.

Avaliando o efeito da crosta superficial na erosão em entressulcos de um Neossolo Litólico submetido a diferentes usos e manejo aplicando três chuvas com intensidade de 45 mm h^{-1} em intervalos de 7 dias, Maier et al. (2013), observaram formação de crosta após a primeira chuva aumentando o escoamento superficial nos tratamentos de plantio convencional e cultivo mínimo. Também, observaram que a presença de crosta aumentou a resistência do solo à desagregação e, com isso, inferiram haver fortes evidências que o processo de erosão em entressulcos tenha sido reduzido mais pelo suprimento do que pela capacidade de transporte dos sedimentos.

Além do gesso agrícola, outras fontes foram utilizadas para reduzir o desenvolvimento de crostas. Hu et al. (2012), avaliando o desenvolvimento de crostas de solo sob chuva simulada utilizando Poliacrilamida, observaram que partículas finas na superfície do solo tornaram-se salpicadas, lixiviadas e depois ásperas em resposta ao impacto gota de chuva, porém o impacto contínuo das gotas provocam dispersão dos agregados e formação de uma camada densa compactada. Os autores ressaltam que quando aplicado a poliacrilamida obteve efeito de restauração da estrutura do solo e aumentou consideravelmente a estabilização dos agregados do solo

4.8 Textura de crostas superficiais

Pelo método da micropipeta, no TCo, a fração areia variou 2% entre os tratamentos campo e com gesso. A fração silte apresentou maior percentagem no campo (38,19%), e menor no tratamento sem gesso (30,5%) e a argila apresentou a menor percentagem (8,75%) no campo. No mesmo solo pelo método do densímetro a fração areia variou 6% quando comparado com o método da micropipeta, diferentemente do silte que reduziu 8% no campo, 3% sem gesso e 7% com gesso. Já os teores de argila em todos os tratamentos não apresentaram variações entre os métodos (Figura 13A).

Em relação ao RLe, pelo método da micropipeta, estimou-se uma variação de 2% nos teores de areia entre os tratamentos, logo o silte teve acréscimo de 7% entre os tratamentos campo e com gesso, diferentemente da argila que decresceu 7%. Pelo método da pipeta, os valores de areia são semelhantes aos da micropipeta variando apenas 1%. Para os teores de silte observou-se aumento neste método no tratamento campo (7%) e sem gesso (3%), bem como, redução de 3% no tratamento com gesso. Entretanto, os teores de argila reduziram em 8% no tratamento campo e 3% no tratamento sem gesso, já para o tratamento com gesso não houve diferença nos teores argila (Figura 13B).

A formação de crostas nestes solos pode ser compreendida através de dois mecanismos: físico e dispersão físico-química. O primeiro está atribuído a desintegração dos agregados superficiais, causados pelo impacto das gotas de chuva, que formam uma fina camada na parte superior. O segundo ocorre pela migração físico-química de partículas de argilas junto com a água infiltrante que percolam alguns milímetros na superfície do solo e provocam o fechamento dos poros responsáveis pela transmissão da água da superfície para o interior do solo obstruindo os poros, formando uma superfície selada (AGASSI et al., 1981; ASSOULINE, 2004; NEAVE e RAYBURG, 2007).

De acordo com informações contidas nas Tabelas 1 e 2, os valores de CO e de argila no TCo sem gesso e com gesso no RLe e de argila TCo com gesso e com aplicação de gesso foram semelhantes entre si e diferentes do demais tratamentos, que apresentaram valor de CO e de argila inferiores aos desses tratamentos. Dessa maneira, os maiores valores de CO e de argila verificados no tratamento com gesso explicam, em parte, a maior estabilidade de agregados para esse tratamento. Da mesma forma, verificase que todos os tratamento apresentaram valores de areia acima de 60% formada por material das frações silte e areia fina (Tabela 2), que são justamente aquelas frações consideradas mais facilmente erodíveis devido à pouca coesividade e facilidade de transporte dessas partículas. Esses dados ajudam a compreender os maiores valores de encrostamentos dos

solos, tendo em vista que os diferentes valores afetam na dinâmica das cargas elétricas do solo, que influencia em fenômenos de dispersão e floculação de argilas.

Os altos teores de argila encontrados no TCo e no RLe, podem agir como ligantes de partículas após períodos de secagem, reforçando a resistência da camada superficial para formação de crostas (SHAINBERG, 1992). Os efeitos da argila na estrutura de agregados estudados por Ben-hur et al. (1985) e Mamedov e Levy (2001), indicam que solos com 10 a 30% de argila são mais susceptíveis a formação de crostas, além de terem menores taxas de infiltração, enquanto, que em solos com teores de argila menores que 10%, a quantidade de argila disponível para dispersar e obstruir os poros do solo é limitada, resultando, portanto, na formação de uma crosta desenvolvida.

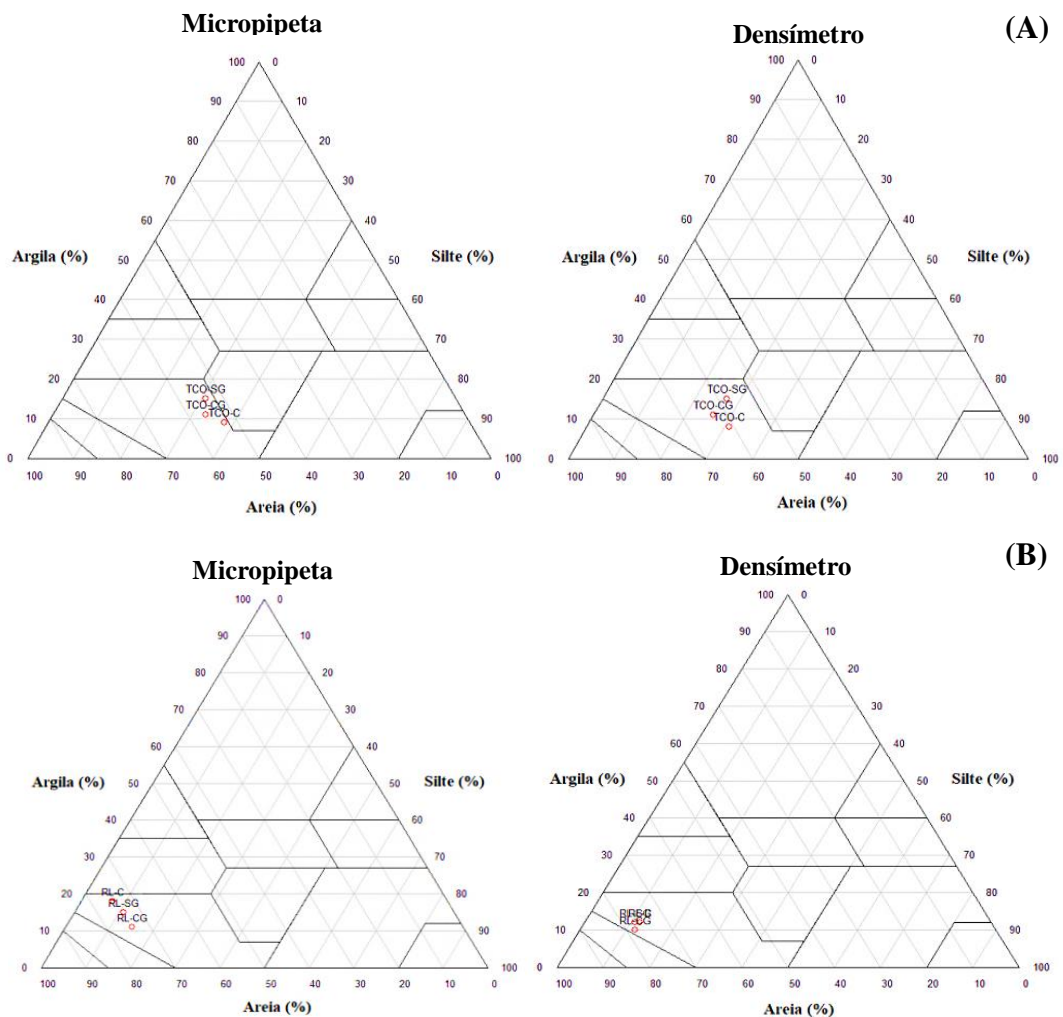


Figura 14. Classificação da textura de crostas pelo método da Micropipeta e da Pipeta. (A) TCo-C= Luvissole Crômico Órtico (Campo); TCo-SG= Luvissole Crômico Órtico (Sem gesso); TCo-CG= Luvissole Crômico Órtico (Com gesso); (B) RL-C=Neossolo Litólico (Campo); RL-SG=Neossolo Litólico (Sem gesso); RL-CG=Neossolo Litólico (Com gesso), determinados pelo triângulo textural segundo Santos et al. (2005), utilizando o software TAL (2008).

Em relação a fração silte, Brandão et al. (2006) relatam que solos mais ricos nessa fração possuem maior tendência a desenvolver crostas superficiais, uma vez que estas partículas preenchem os vazios do solo, dificultando a passagem de água dentro do perfil, como observados no TCo em ambos os métodos utilizados. Já elevados teores de areia e baixos teores de carbono orgânico, contribuem para um menor índice de estabilidade de agregados, características essas que aumentam a erodibilidade do solo em entressulcos e encrostamento superficial (NUNES e CASSOL, 2011).

Do ponto de vista geral, o estado inicial dos solos pode variar ao longo do tempo após eventos chuvosos ou pelo seu uso, produzindo modificações na erodibilidade (GUERRA, 1994), o que pode levar a ocorrência de modificações da sua estrutura física, afetando a textura, densidade aparente e porosidade (LEITÃO e VIEIRA, 2014). Apesar das variações entre as frações granulométricas neste estudo, não houve mudança na classe textural dos solos (franco-arenosa), independentemente dos métodos utilizados para quantificar a textura das crostas. A formação de crostas foi evidenciada conforme Figura 15.

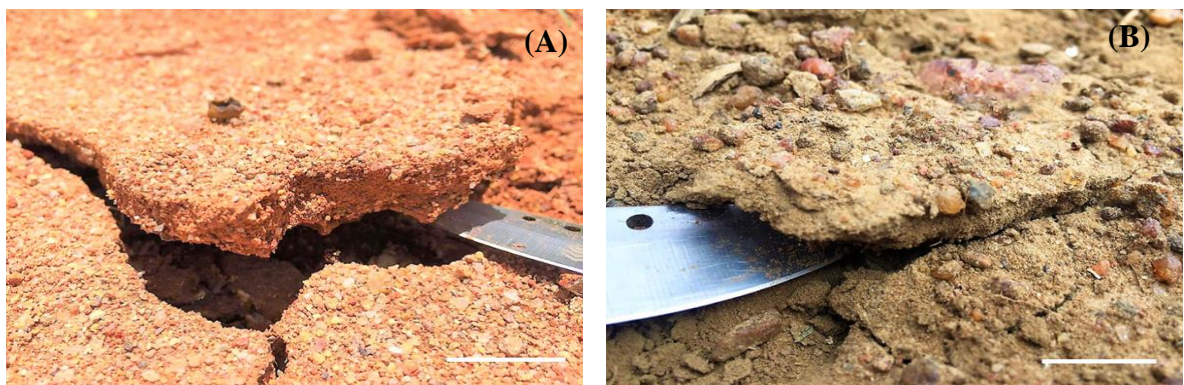


Figura 15. Crostas formadas após diferentes testes de chuva em duas classes de solo representativas do estado da Paraíba. A (Luvissole Crômico Órtico), B (Neossolo Litólico Eutrófico).

4.9 Estabilidade de agregados

Na tabela 5 encontram-se os valores de estabilidade de agregados obtidos via seca e via úmida para os solos TCo e RLe, com e sem aplicação de gesso agrícola sob condições de chuva simulada. Observa-se que o maior valor de DMPAs ocorre no TCo (3,080 mm), assim como macro-agregados (93,7%) sem aplicação de gesso agrícola. Todavia, para micro-agregados observou-se a maior concentração no RLe na amostra de campo (27,9 %). O maior DMPAu foi observado no RLe com aplicação de gesso agrícola (2,080 mm) assim como percentagem de macro-agregados. O mesmo ocorre na amostra de campo

para os micro-agregados. Observou-se o maior IEA no RLe com aplicação de gesso agrícola após 4 testes de chuva, e menor em amostra de campo.

No TCo houve decréscimo nos valores do IEA, na seguinte sequência: campo > sem gesso agrícola após 4 testes de chuva > com gesso agrícola, diferentemente para o RL, onde foi observado incremento nos valores do IEA na seguinte sequência: com gesso agrícola após 4 testes de chuva > sem gesso agrícola após 4 testes de chuva > amostra de campo.

Tabela 5. Diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos via peneiragem seca (DMPAs) e úmida (DMPAu), macro e micro porosidade e índice de estabilidade de agregados em água (IEA) para o Luvissole Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) com e sem aplicação de gesso agrícola após 4 testes de chuva simulada simulada.

Solos	Tratamentos	Via Seca			Via úmida			IEA
		DMPAs	Macro	Micro	DMPAu	Macro	Micro	
		mm	%		mm	%		
TCo	Campo	1,466	77,1	22,9	0,616	31,8	68,2	0,420
	Sem Gesso	3,080	93,7	6,3	1,018	41,8	58,2	0,331
	Com Gesso	3,727	80,2	19,8	0,888	53,8	46,2	0,238
RLe	Campo	2,051	72,1	27,9	0,405	25,4	74,6	0,197
	Sem Gesso	1,221	85,4	14,6	0,655	31,8	68,2	0,536
	Com Gesso	2,144	76,2	23,8	2,080	62,8	37,2	0,970

DMPAs = Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados Via Seca; DMPAu = Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados Via Úmida; IEA = Índice de Estabilidade de Agregados.

A estabilidade de agregados pode ser atribuída às fases: química, física e mineralógica do solo e, conseqüentemente, influenciam na agregação das partículas. Dentre as variáveis analisadas, a estabilidade de agregados é a que sofre maior influência do comportamento das características físicas do solo, em particular a erosão do solo pela chuva (AN e LIU, 2017).

O efeito negativo na estabilidade dos agregados para ambas as classes de solo, possivelmente está ligado ao aumento de cargas dependentes do pH do solo, que geram cargas negativas (SPOSITO, 2008). Com o predomínio de cargas negativas no solo ocorre dispersão de argilas (SUMNER, 1992; SIX et al., 2004) e conseqüentemente menor estabilidade. Portanto, solos que possuem maior estabilidade de agregados em água tendem a serem os menos suscetíveis à erosão hídrica do solo (NUNES e CASSOL, 2011).

Por outro lado, na literatura é reportado que em solos tropicais, de carga variável ocorre aumento na dispersão de argilas, que tende a reduzir o DMP do solo devido ao efeito da gessagem. Aliado a este fato, os baixos valores de Mg^{2+} no TCo indicam que o

Mg^{2+} é menos eficiente que Ca^{2+} em flocular argilas e, conseqüentemente, em melhorar a agregação do solo (DONTSOVA e NORTON, 2002). Entretanto, os efeitos na dispersão de argilas podem ser limitados a um curto espaço de tempo após a aplicação do gesso, fato observado no RL que, diferentemente do TCo ao receber a aplicação de gesso houve efeito em um curto espaço de tempo no IEA. Com o passar do tempo, pode ocorrer nova floculação das partículas devido ao aumento das concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} , precipitação de hidróxidos amorfos de Al carregados positivamente [$Al(OH)^{2+}$] e a alta força iônica da solução do solo, podendo comprimir a dupla camada difusa, resultando na diminuição da repulsão entre as partículas de argila, o que promove aumento da floculação e da estabilidade da estrutura do solo (BRIEDIS et al., 2012).

Avaliando um Neossolo Flúvico no Semiárido sob sistema de cultivo irrigado, com utilização de gesso agrícola (30 Mg ha^{-1}) aplicado nas camadas de 0-10 e 10-30 cm de profundidade, deixando-o reagir durante o período de 18 meses, Miranda et al. (2018), observaram que a aplicação de gesso agrícola não alterou a densidade do solo, mas aumentou a macroporosidade, condutividade hidráulica do solo saturado e reduziu a microporosidade. Carmies Filho et al. (2016) avaliando um Latossolo Vermelho distrófico em um Sistema de Plantio Direto, utilizado três formas de aplicação: calcário na superfície, gesso agrícola na superfície, Calcário + gesso agrícola na superfície em cinco profundidades (0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), não observaram efeitos sobre a microporosidade na camada de 0-0,05 m, mas a macroporosidade foi superior apenas com a aplicação isolada de gesso agrícola, assim como o DMP de todas as camadas aumentou com a aplicação de calcário + gesso agrícola.

Grandes diferenças na estabilidade dos agregados sugerem grandes variações na erodibilidade dos solos (ALGAYER et al., 2014). Correlacionando a erodibilidade de um solo do semiárido sob chuva simulada com erosão em entressulcos e diferentes classes de tamanho dos agregados, Vaezi et al. (2018), relataram que agregados com diâmetro maiores apresentaram maior resistência ao impacto direto de gotas de chuva, proporcionando menor destacamento das partículas. Já em relação aos agregados de menor tamanho (micro), os autores relataram maior suscetibilidade à erosão hídrica pelo escoamento, assim como maior erodibilidade.

5 CONCLUSÕES

1. A viscosidade, velocidade de escoamento e altura da lâmina de escoamento foram reduzidas com a aplicação de gesso agrícola no Luvissole Crômico Órtico e Neossolo Litólico Eutrófico.
2. No teste 1 ocorreram as maiores taxas de desagregação, perdas de solos e sedimentos. Entretanto, quando aplicado gesso agrícola os valores de erodibilidade foram reduzidos.
3. Neossolo Litólico Eutrófico apresenta maior susceptibilidade ao encrustamento superficial.
4. Não houve diferença na classe textural das crostas superficiais independentemente dos tratamentos e dos métodos utilizados.
5. O maior índice de estabilidade de agregados foi no Neossolo Litólico Eutrófico com aplicação de gesso agrícola.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v.103, n.2, p.364-372, 2009.
- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2018. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website>>. Acesso: 20 de setembro de 2018.
- AGASSI, M. et al. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science**, v.45, p.848-851, 1981.
- AGASSI, M. et al. Laboratory studies of infiltration and runoff control in semi-arid soils in Israel. **Geoderma**, v.28, p.345-356, 1982.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.141-151, 2000.
- ALGAYER, B. et al. Aggregate stability of a crusted soil: differences between crust and sub-crust material, and consequences for interrill erodibility assessment. An example from the Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Science**, v.65, n.3, p.325-335, 2014.
- ALMAJMAIE, A. et al. Can soil crusting be reduced through application of gypsum, organic waste, and phosphoric acid? **Journal of Soil and Water Conservation**, v.72, n.6, p.597-606, 2017.

ALMEIDA, W.S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1110-1119, 2016.

AMORIM, R.S.S. et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição de erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1046-1049, 2010.

AN, J.; LIU, Q. Soil aggregate breakdown in response to wetting rate during the inter-rill and rill stages of erosion in a contour ridge system. **Catena**, v.157, p.241-249, 2017.

ANACHE, J.A. et al. Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. **Geociências**, v. 4, n.1, p.32-40, 2015.

ANACHE, J.A. et al. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: a meta-analysis of the Brazilian experience. **Catena**, v. 152, p.29-39, 2017.

AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B. Estimativa do fator erodibilidade (K) das associações de solos do estado do Piauí descritas em Jacomine (1986). **Revista Geotemas**, v.7, n.1, p.26-36, 2017.

ARAÚJO, F.S. et al. Estimativa da erodibilidade de latossolos do Piauí. **Scientia Plena**, v.7, n.10, p.1-6, 2011.

ARMSTRONG, A. et al. Variability of interrill erosion at low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.36, n.1, p.97-106, 2011.

ASADI, H. et al. Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.32, p.711-724, 2007.

ASSOULINE, S. Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observations, conceptual models, and solutions. **Vadose Zone Journal**, v.3, n.2, p.570-591, 2004.

ASSOULINE, S; BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. **Catena**, v.66, n.3, p.211-220, 2006.

AUERSWALD, K.A. et al. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. **Catena**, v.118, p.220-225, 2014.

AULER, A.C. et al. Effects of surface-applied and soil-incorporated lime on some physical attributes of a Dystrudept soil. **Soil Use and Management**, v.33, p.129-140, 2017.

ÁVILA, G.G.; MEDEIROS, P.H.A. Susceptibilidade à erosão e vulnerabilidade da caatinga aos processos erosivos na ESEC de Aiuaba-CE. **Conexões Ciência e Tecnologia**, v.8, n.2, p.48-56, 2014.

BARBOSA, A.A. et al. Chemical, mechanical and morphological characterization of gypsum obtained at Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**, v.60, n.356, p.501-508, 2014.

- BARBOSA, M.C.R.; LIMA, H.M. Shear strength of soils and slopes covered with vetiver. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.113-120, 2013.
- BARROS, P.P.S. et al. Comparison between use and occupancy and soil loss, in the years 1995 and 2010, in the Ceveiro watershed. **Revista Ambiência**, v.12, n.2, p.513-523, 2016.
- BEN-HUR, M. et al. Effect of soil texture and CaCO_3 content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. **Irrigation Science**, v.6, p.281-294, 1985.
- BERTOL, I. et al. Sediments transported from an Hapludox through water erosion events. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.245-252, 2010.
- BERTOL, O.J. et al. Soil and water loss and quality of surface runoff associated with interrill erosion in no-tillage area treated with chemical and organic fertilizers. **Revista Brasileira De Ciencia do Solo**, v.31, n.4, p.781-792, 2007.
- BEZERRA, S.A. et al. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, 2010.
- BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.3, p.565-573, 2006.
- BONILLA, C.A.; JOHNSON, O.I. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. **Geoderma**, v.189, p.116-123, 2012.
- BORSELLI, L. et al. Effects of gypsum on hydrological, mechanical and porosity properties of a kaolinitic crusting soil. **Soil technology**, v.9, n.1-2, p.39-54, 1996.
- BRANDÃO, V.S et al. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.13-22, 2006.
- BRANDÃO, V.S. et al. Soil losses and physical and micromorphological characterization of formed crusts in soils under simulated rainfall. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.129-138, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento Exploratório de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).
- BRIEDIS, C. et al. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v.170, p.80-88, 2012.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.
- CALERO, N. et al. Water dispersible clay in calcareous soils of Southwestern Spain. **Catena**, v.74, n.1, p.22-30, 2008.

CAMPOS, M.C.; QUEIROZ, S.B. Reclassificação dos perfis descritos no levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p.45-50, 2006.

CANTALICE, J.R.B. et al. Flow hydraulics and sediment transport in rills of a sandy clay loam soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, p.597-607, 2005.

CANTALICE, J.R.B. et al. Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. **Catena**, v.48, p.111-116, 2017.

CARDOSO, D.P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.632-638, 2012.

CARDUCCI, C.E. et al. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.171-180, 2015.

CARMEIS FILHO, A.C.A. et al. Lime and phosphogypsum impacts on soil organic matter pools in a tropical Oxisol under long-term no-till conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.241, p.11-23, 2017.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99- 105, 1990.

CARVALHO, D.F. et al. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1072-1078, 2015.

CASSOL, E.A. et al. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.685-690, 2004.

CASSOL, E.A. et al. Soil Erodibility under Natural Rainfall Conditions as the K Factor of the Universal Soil Loss Equation and Application of the Nomograph for a Subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42, p.1-12, 2018.

CASTILHO, S.C.P. et al. Influence of crust formation under natural rain on physical attributes of soils with different textures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.1893-1905, 2011.

CASTILHO, C.P. et al. Micromorphometric analysis of porosity changes in the surface crusts of three soils in the Piracicaba region, São Paulo State, Brazil. **Acta Scientiarum**, v.37, n.3, p.385-395, 2015.

CEMIN, G. et al. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Arroio Marrecas, RS, Brasil. **Scientia Plena**, v.9, n.1, p.1-9, 2013.

CHOW, V.T. **Open channel hydraulics**. New York, NY: McGraw-Hill, 1959,680p.

COSTA, C.D.O. et al. Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, v.9, n.1, p.67-85, 2015.

COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C.A.C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v.74, p.119-132, 2016.

CUNHA, T.J.F. et al. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I.B.; SILVA, P.C.G. **Seminário brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, p.49-87, 2010.

DALA ROSA, J. et al. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.2, p.400-410, 2013.

DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v.105, p.1393-1403, 2013.

DANTAS, J.C. et al. Simulação vazão erosão usando o modelo Swat para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba. **Geociências**, v.34, n.4, p.816-827, 2015.

DEFERSHA, M.B. et al. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15, n.7, p.2367-2375, 2011.

DIAS, E.R.; SILVA, R.M. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena-Paraíba. **Caminhos de Geografia**, v.16, n.54, p.192-204, 2015.

DONAGEMMA, G.K et al. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016.

DONTSOVA, K.M.; NORTON, L.D. Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. **Soil Science**, v.167, n.3, p.184-193, 2002.

DUARTE, S.M.A. The stages of the desertification in different types of soil in the Semiarid Paraíba. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.4, n.3, p.075-086. 2014.

DURÃES, M.F.; MELLO, C.R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia sanitária ambiental**, v.21, n.4, p.677-685, 2016.

EDUARDO, E.N. et al. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.793-803, 2013.

ELLIOT, W.J. et al. **A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987-88**. Washington, The Ohio State University: USDA. Agricultural Research Service, p. A2-A25. (NSERL. Report, 3), 1989.

- EMBRAPA. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos, 2014. 14p.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). 5.ed. Brasília, 2018. 590p
- ENRIQUEZ, A.G. et al. Erodibility and critical shear stress in the drainage channel of a rural unpaved road. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.160-165, 2015.
- EVEREARTH, W. et al. Empirical relations for the sediments transport capacity of interrill flow. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.16, n.6, p.513-532, 1991.
- FANTINEL, R.A.; BENEDETTI, A.C.P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. **Ciência e Natura**, v.38 n.1, p.156-163, 2016.
- FAO e ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.
- FAO. IUSS Working Group WRB. 2014. **World Reference Base for Soil Resources**. Roma. FAO, 2014. 193p. World Soil Resources Reports, N°. 106.
- FAVARETTO, N. et al. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.5, p.1788-1796, 2006.
- FENG, G. et al. Windblown soil crust formation under light rainfall in a semiarid region. **Soil and Tillage Research**, v.128, p.91-96, 2013.
- FIORIO, P.R. et al. Estimates of soil loss in a GIS environment using different sources of topographic data. **Revista Ambientia**, v.12, n.1, p.203-216, 2016.
- FRANCO, A.M.P. et al. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.18, n.2-4, p.175-187, 2012.
- FREITAS, F.J. et al. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, n.4, p.1743-1751, 2008.
- FU, S. et al. The effect of slope on interrill erosion at short slopes. **Catena**, v.84, p.29-34, 2011.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 1994.474p.
- HOLANDA NETO, M.R. et al. Estimativa da erodibilidade de Latossolos do Piauí. **Scientia Plena**, v.7, n.10, p.1743-1751, 2011.
- HORTON, S.C. et al. Gypsum soils-Their morphology, classification, function, and landscapes. **Advances in Agronomy**, v.130, p.231-290, 2015.

- HU, X. et al. Development of soil crusts under simulated rainfall and crust formation on a loess soil as influenced by polyacrylamide. **Pedosphere**, v.22, n.3, p.415-424, 2012.
- IGWE, C.A. Erodibility in relation to water-dispersible clay for some soils of Eastern Nigeria. **Land Degradation & Development**, v.16, n.1, p.87-96, 2005.
- JACOMINE, P.K.T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v.5, p.161-179, 2013.
- JAKAB, G. et al. The influence of short term soil sealing and crusting on hydrology and erosion at Balaton Uplands, Hungary. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v.8, n.1, p.147-155, 2013.
- JARDIM, A.M.R.F. et al. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.3, p.186-193, 2017.
- JORDANOVA, N. et al. Soil formation and mineralogy of a Rhodic Luvisol-insights from magnetic and geochemical studies. **Global and Planetary Change**, v.110, p.397-413, 2013.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro. 1987. 37p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- JULIEN, P.Y. **Erosion and sedimentation**. Melbourne: Cambridge University Press, 1995. 280p
- KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012, p.207-302.
- KATZ, D.M. et al. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. **Journal Hydrology Division**, v.121, p. 546-553, 1995.
- KEESSTRA, S.D. et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **Soil**, v.2, n.2, p.111-128, 2016.
- KIM, Y.J. et al. Effect of gypsum and rice straw compost application on improvements of soil quality during desalination of reclaimed coastal tideland soils: ten years of long-term experiments. **Catena**, v.156, p.131-138, 2017.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: **Soil and Water Conservation Society**, 1988. p. 141-160.
- LEITÃO, S.C.; VIEIRA, A.F.S.G. Caracterização física de crostas em superfícies de solos degradados em Manaus (AM): uma abordagem preliminar. **Revista Geonorte**, v.10, n.21, p.35-39, 2014.
- LEITE, E.M. et al. Redução da sodicidade em um solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Caatinga**, Mossoró, v.23, n.2, p.110-116, 2010.

- LÉONARD, J.; RICHARD, G. Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. **Catena**, v.57, n.3, p.233-249, 2005.
- LIEBENOW, A.M. et al. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. **Transactions of the ASAE**, v.33, p.1882-1888, 1990..
- MAIER, C. et al. Efeito da crosta superficial na erosão entressulcos de um Neossolo Litólico submetido a diferentes usos e manejo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.1, p.149-163, 2013.
- MAMEDOV, A.I.; LEVY G.J. Clay dispersivity and aggregate stability effects on seal formation and erosion in effluent irrigated soils. **Soil Science**, v.66, p.631-639, 2001.
- MARTINS, S.G. et al. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.322-327, 2011.
- MATOS, C. et al. Influence of the application of plaster in saline Ultisol in the development of jatobá. **Acta Iguazu**, v.3, n.4, p.79-86, 2014.
- MATOS, E.S. et al. Aggregate stability and carbon and nutrients distribution in an Acrisol under organic and mineral fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p.1221-1230, 2008.
- MEDEIROS, B.M. **Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, 2018.
- MEDEIROS, L.C et al. Caracterização físico-química de um Neossolo Litólico na região do Seridó do RN. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.9, n.4, p.01-07, 2013.
- MEDEIROS, R.M. et al. Classificação climática e zoneamento agroclimático de culturas para São João do Cariri-PB. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.21, p. 2984-2996, 2015.
- MERTEN, G.H. et al. Effect of sediment load on soil detachment and deposition in rills. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.861-868, 2001.
- MEYER, L.D. et al. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: USDA-ARS (Ed.) Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Washington, USDA – **Agricultural Research**, 1975.
- MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2006. 285p
- MILLER, W.P.; MILLER, D.M. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 1-15, 1987.
- MIRANDA, M.F.A. et al. Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.64, n.9, p.1207-1221, 2018.
- MONTENEGRO, A.A.A. et al. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

MORAIS, R.C.S. et al. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v.27, n.1, p.84-105, 2017.

MOURA, E. et al. Gypsum and legume residue as a strategy to improve soil conditions in sustainability of agrosystems of the humid tropics. **Sustainability**, v.10, n.4, p.1006, 2018.

MOURA, M.M.S. et al. Vulnerabilidade à erosão quanto aos aspectos solo e vegetação em uma bacia hidrográfica no semiárido. **Revista Entorno Geográfico**, n.13, p.100-113, 2017.

NEAVE, M.; RAYBURG, S.A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact os surfasse cover. **Geomorphology**, v. 87, p.378-390, 2007.

NEVES, S.M.A.S. et al. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT. **Sociedade e natureza**, v.23, n.3, p.423-433, 2011.

NUNES, M.C.M.; CASSOL, E.A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.541-547, 2011.

OLIVEIRA, F.P. et al. Fatores relacionados a susceptibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16. n.4, p.337-346, 2012.

OLIVEIRA, F.P. et al. Tolerância de perda de solo por erosão para o estado da Paraíba. **Revista de Biologia e ciências da terra**, v.8, n.2, p.60-72, 2008.

OLIVEIRA, F.M.C. et al. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **HOLOS**, v.5, n.28, p.71-82, 2012.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**, Piracicaba: FEALQ, 2011, 592p.

OLIVEIRA, L.B. et al. Micromorphology and genesis of luvisols and planosols developed from metamorphic rocks in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2407-2423, 2008.

OLIVEIRA, P.T.S. et al. Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena**, v.100, p.139-147, 2013.

PANACHUKI, E. et al. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.443-451, 2010.

PAVAN, M.A.; ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. **Ci Cultura**, v.44, p. 391-394, 1992.

PENG, Z. et al. Modification of Green-Ampt model based on the stratification hypothesis. **Advances in water Science**, v. 23, n.1, p. 59-66, 2012.

PERAZZOLI, M. et al. Effects of scenarios of landuse on water regime and sediment transport in the Concórdia River basin, SC. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p.859-869, 2013.

PIERI, C.J.M.G. **Fertility of soils: A Future for farming in the West African Savannah**. Berlin, Springer-Verlag, 1992.

PROSDOCIMI, M. et al. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: a review. **Catena**, v.141, p.1-21, 2016.

ROCHA JUNIOR, P.R. et al. Soil surface roughness under tillage practices and its consequences for water and sediment losses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.16, n.4, p.1065-1074, 2016.

ROSA JUNIOR, E.J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.37-44, 2007.

SÁ, F.V.S. et al. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 46-59, 2018.

SÁ, I.B. et al. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu/PR. 2013.

SAJJADI, S.A.; MAHMOODABADI, M. Aggregate breakdown and surface seal development influenced by rain intensity, slope gradient and soil particle size. **Solid Earth**, v.6, n.1, p.311-321, 2015.

SAMPAIO, E.V.S.B. et al. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, p. 59-76, 2005.

SANTOS, F.A.S. et al. Taxas de desagregação de Argissolo Vermelho-Amarelo em entressulcos e sob chuva simulada. **Engenharia na Agricultura**, v.23 n.2, p.154-161, 2015.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos; 2018.

SANTOS, N.Z. et al. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil & Tillage Research**, v.111, n.2, p.208-218, 2011.

SANTOS, P.M. et al. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.1, p.95-103 2014.

SANTOS, R.D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCHILLINGER, W.F. Rainfall impacts winter wheat seedling emergence from deep planting depths. **Agronomy journal**, v.103, n.3, p.730-734, 2011.

- SHAINBERG, I. et al. Aggregate stability and seal formation as affected by drops' impact energy and soil amendments. **Soil Science**, v.154, p.113–119, 1992.
- SHI, Z.H. et al. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. **Journal of Hydrology**, v. 454-456, p.123-130, 2012.
- SILVA, A.T. et al. Effects of water velocity and turbulence on the behavior of Iberian barbal (*Luciobarbus bocagei*, Teindanchner 1846) in a experimental pool-type fishway. **River Research and Applications**, v.27, n.3, p.360-373, 2011.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 21, p 113-117, 1997.
- SILVA, J.L.C. et al. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n.2, p.180-191, 2018.
- SILVA, L.F.S. et al. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um Latossolo Vermelho da região de Campinas, SP. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v.3, n.1, p.51-58, 2016.
- SILVA, L.N. et al. Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.11, p.1751-1761, 1994.
- SILVA, S. et al. Características físicas e químicas de um neossolo, Regolítico, Eutrófico do Agreste pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 34, 2013. Florianópolis. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.
- SIMONS, D.B.; ŞENTÜRK, F. **Sediment transport technology**: water and sediment dynamics. Colorado , Water Resources Publication, 1992, 897p.
- SIQUEIRA, R.H.S et al. Aggregation of an oxisol subjected to weed control methods in the coffee crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1128-1134, 2014.
- SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.
- SLATTERY, M.C.; BRYAN, R.B. Hydraulic conditions for rill incision under simulated rainfall: a laboratory experiment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.17, n.2, p.127-146, 1992.
- SOUZA, E.S. et al. Effect of crusting on the physical and hydraulic properties of a soil cropped with Castor beans (*Ricinus communis* L.) in the northeastern region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.141, p.55-61, 2014.
- SOUZA, F.R.G. et al. Morphology and stability of aggregates of an Oxisol according to tillage system and gypsum application. **Revista Ceres**, v.59, n.6, p.859-866, 2012.
- SOUZA, M.D. de. Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes manejos. 131f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 1985.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. Oxford, New York, 2008, 330p.

SUMNER, M. E. The electrical double layer and clay dispersion. In: SUMNER, M.E.; **Soil crusting chemical and physical processes**, 1992, p.1-31.

TABOADA-CASTRO, M.M. et al. Soil crusting and surface runoff in agricultural land in Galicia (NW Spain). **Spanish Journal of Soil Science**, v.5, n.1, p.72-81, 2015.

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573p.

TEXTURE AUTOLOOKUP - TAL FOR WINDOWS. Version 4.2. Disponível em: <http://www.download.com/Texture-AutoLookup-TAL-/3000-2054_4-10144157.html>. Acesso em: 11 dezembro. 2018.

TISDALL, J.M. et al. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical dsireption. **Australian journal Soil Research**, v 16, p 9-17, 1978.

VAEZI, A.R.; BAHRAMI, H.A. Relationship between soil productivity and erodibility in rainfed wheat lands in Northwestern Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.16, n.6, p.1455-1466, 2014.

VAEZI, A.R. et al. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. **Science of the Total Environment**, v.583, p.382-392, 2017.

WANG, J. et al. Influence of Surface crusting on infiltration of a loess plateau soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.80, n.3, p.683-692, 2016.

WISCHMEIER, W.H. et al. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide selection of practices for soil and water conservation. Washington, DC.: USDA, 1965.

XIA, H.U. et al. Development of soil crusts under simulated rainfall and crust formation on a loess soil as influenced by polyacrylamide. **Pedosphere**, v.22, n.3, p.415-424, 2012.

YAZDANPANA, N.; MAHMOODABADI, M. Reclamation of calcareous saline-sodic soil using different amendments: time changes of soluble cations in leachate. **Arabian Journal of Geosciences**, v.4, n.7, p.194-204, 2011.

ZHANG, S. et al. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. **Science of the Total Environment**, v.574, p.34-45, 2017.

ZHU, A. et al. Modeling runoff and soil erosion in the Three-Gorge Reservoir drainage area of China using limited plot data. **Journal of hydrology**, v.492, p.153-175, 2013.

ZONTA, J.H. et al. Modelling of the soil water infiltration in crusting soil. Part I: GAML model for layered soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.461-470, 2012.