

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SELAMENTO SUPERFICIAL E EROÇÃO HÍDRICA EM SOLOS  
REPRESENTATIVOS DA BACIA DO ALTO IPANEMA, PESQUEIRA-PE, COM E  
SEM A UTILIZAÇÃO DE COBERTURA MORTA**

**FÁBIO FERREIRA DA SILVA**

**RECIFE - PE  
2016**

FÁBIO FERREIRA DA SILVA

SELAMENTO SUPERFICIAL E EROÇÃO HÍDRICA EM SOLOS REPRESENTATIVOS  
DA BACIA DO ALTO IPANEMA, PESQUEIRA-PE, COM E SEM A UTILIZAÇÃO DE  
COBERTURA MORTA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de *mestre* em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Conservação de água e solo

ORIENTADORA: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos  
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza

RECIFE - PE  
2016

### Ficha catalográfica

S586s Silva, Fábio Ferreira da  
Selamento superficial e erosão hídrica em solos representativos da bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE, com e sem a utilização de cobertura morta / Fábio Ferreira da Silva. – Recife, 2016.  
80 f. : il.

Orientadora: Thais Emanuelle Monteiro dos Santos.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2016.  
Referências.

1. Micromorfologia do solo 2. Chuva simulada 3. Percentual dos agregados 4. Erosão hídrica I. Santos, Thais Emanuelle Monteiro dos, orientadora II. Título

CDD 631

FÁBIO FERREIRA DA SILVA

**SELAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO HÍDRICA EM SOLOS  
REPRESENTATIVOS DA BACIA DO ALTO IPANEMA, PESQUEIRA-PE, COM E  
SEM A UTILIZAÇÃO DE COBERTURA MORTA**

Dissertação defendida e aprovada em 18 de julho de 2016 pela banca examinadora:

A minha família e especialmente aos meus pais José Ferreira e Maria Rodrigues, que com amor e respeito me ensinaram valores que ajudaram a formar meu caráter e a minha esposa Francisca Teixeira, pelo amor e dedicação.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A “Deus” por me conceder a vida, sempre cheia de grandes desafios e vitórias e por estar sempre ao meu lado como fiel companheiro nos momentos difíceis e por toda a sua grandeza, me dando muita saúde para lutar, enfrentar e superar todos os obstáculos da vida.

A toda minha família, em especial aos meus pais José Ferreira e Maria Rodrigues, pelo amor, pela educação, valores e princípios de vida e aos meus irmãos: Francisco, Isabela, Esmerinda e Benjamim pelo convívio harmonioso!

A minha amada esposa Francisca Teixeira, por todo apoio companheirismo e auxílio em todos os momentos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida de realizar o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de estudo durante o curso.

À Professora Thais Emanuelle dos Santos pela orientação, incentivo, pela motivação e por ter acreditado e depositado confiança em mim para realização deste trabalho, mas acima de tudo por toda contribuição para meu crescimento e amadurecimento pessoal e profissional.

Ao professor Marcelo Metri da UFRPE de Garanhuns pela interpretação das amostras de micromorfologia do solo.

Ao professor Edivan Rodrigues, pela co-orientação e contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Coordenador, professor Mario Rolim, que sempre se mostrou disposto a ajudar no que fosse necessário para a realização do trabalho e ao vice coordenador o professor Ênio França por sua importante contribuição.

Ao professor Abelardo Montenegro, pela contribuição e incentivo.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo financiamento das Bolsas aos alunos colaboradores desta pesquisa.

Aos dedicados alunos do curso de Ciências Biológicas com Ênfase em Ciências Ambientais (UFPE), pela colaboração ativa no projeto: Ananda, Cristina, Daniele, Geovana, Luan, Rayane e Rodolpho.

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Aos agricultores do vale do Ipanema em Pesqueira, por permitir realizar este trabalho em suas áreas.

Ao técnico do laboratório de preparação de Lâmina delgada (UFPE), Maurilio pelas confecções das lâminas delgadas de micromorfologia.

Aos amigos e irmãos: Anna Hozana, Jhon Lennon e Gebson Pinheiro por todas as noites de estudo e alegria.

Aos amigos e irmãos da Igreja Presbiteriana da Várzea pelas orações e convívio.

Aos colegas do Mestrado: Carol, Evanílson, José Neto, José Eduardo, Raphaela, Francisco, Sisgo, Ronaldo, Raguiera, Renato.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Que possamos tirar das cacimbas da ciência água boa,  
para matar a sede do povo do sertão.

## RESUMO

SILVA, F. F. **Selamento superficial e erosão hídrica em solos representativos da bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE, com e sem a utilização de cobertura morta.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

A utilização de cobertura morta no solo permite proteger sua superfície de agentes que causam a erosão e o selamento superficial, reduzindo as perdas de água e solo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o selamento superficial, relacionando-o com a susceptibilidade à erosão dos principais solos da Bacia representativa do Alto Ipanema, com e sem a utilização de cobertura morta. Este experimento foi conduzido utilizando três tipos de solos: Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico, os mesmos foram coletados a uma profundidade de 0 – 20 cm na Bacia representativa do Alto Ipanema, Pesqueira-PE. Os solos foram acomodados, conforme a densidade medida em campo em parcelas experimentais com dimensões de 1,0 m de comprimento, 0,5 m de largura, 0,20 m de profundidade e  $9\text{m m}^{-1}$  de declividade. Foram aplicadas três chuvas simuladas, sucessivamente, em intervalos de 24h, com intensidade de precipitação de  $96\text{ mm h}^{-1}$ . O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2$ , com três repetições, sendo três tipos de solos, três tempos de aplicação de chuva (0h, 24h e 48h), sem e com cobertura morta, num total de 54 testes. Foram avaliadas as taxas erosivas, selamento superficial e resistência do solo à penetração. A presença de cobertura morta reduziu significativamente as perdas de água e solo, em comparação aos tratamentos sem cobertura, proporcionando maior taxa de infiltração devido à maior capacidade de retenção de água. Os menores valores de resistência do solo à penetração, na camada de 0 – 0,02m, foram observados nos solos com cobertura morta, e os maiores valores, de 0,150, 0,148 e 0,098 MPa, para o Argissolo abrupto, Neossolo Flúvico e Argissolo típico, respectivamente, foram verificados após 48h de aplicação da lâmina de chuva. Houve uma alteração da porosidade dos solos das parcelas descobertas e uma migração de material fino no Argissolo abrupto e Neossolo Flúvico, decorrente da baixa estabilidade dos agregados e por falta de cobertura na superfície. Entre os solos, o Neossolo Flúvico, sem cobertura, foi o que apresentou uma pequena camada incipiente de selo superficial. A utilização de cobertura morta contribuiu para maiores valores de infiltração e menores valores

de escoamento superficial e perda de solo. A análise micromorfológica evidenciou alteração da porosidade para os solos sem cobertura, sendo possível observar uma pequena camada incipiente de selo superficial apenas para o Neossolo Flúvico.

**Palavras-chave:** Micromorfologia do solo, chuva simulada, percentual dos agregados, erosão hídrica.

## ABSTRACT

SILVA, F. F. **Surface sealing and water erosion in soils of the high Ipanema basin, Pesqueira-PE, with and without the use of mulch.** 2016. Dissertation (Master's in Agricultural Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco-UFRPE.

The utilization of mulch on the soil surface allows you to protect your agents that cause erosion and surface sealing, reducing losses of water and soil. In this context, the objective of this work was to evaluate the surface sealing, linking it with the susceptibility to erosion of the soils at high Ipanema basin, with and without the use of mulch. This experiment was conducted using three types of soil: Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, Neossolo Flúvico and Argissolo Amarelo Eutrófico típico, where they were collected with a depth of 0-20 cm in the high Ipanema basin, Pesqueira-PE. After that, the soils were packed as the density measured in field plots with dimensions of 1.0 m long, 0.5 m wide, 0.20 m deep and 9m m-1 slope. Where three rainfalls simulated were applied successively in 24-hour intervals, with rainfall intensity of 96 mm h<sup>-1</sup>. The experimental design was completely randomized in a factorial 3 x 3 x 2, with three replications and three soil types, three rainfall application times (0h, 24h and 48h), with and without mulch, a total of 54 tests. It was evaluated the erosive rates, surface sealing and soil resistance to penetration with the presence of mulching significantly reduced the losses of water and soil, in comparison to treatments without coverage, providing greater infiltration rate due to the higher water retention capacity. The lowest soil resistance to penetration, in the 0-0.02 m, observed it in the soil with mulch, and the highest values of 0.150 0.148, and 0.098 MPa, for the Argissolo abruptico, Neossolo Flúvico and Argissolo típico, respectively, recorded it after 48 h of application of rain there was a change in the soil porosity of the parcels and a migration of fine material in the Argissolo abruptico and Neossolo Flúvico, due to the low stability of aggregates and by lack of coverage on the surface. Among the soils, Neossolo Flúvico without coverage, showed the small incipient layer surface seal. The use of mulch contributed to higher leakage values and lower values of surface runoff and soil loss. The micromorphological analysis showed changes of the porosity to the soil without cover, being possible to observe a small incipient layer surface seal only for Neossolo Flúvico.

**Keywords:** Soil micromorphology, simulated rainfall, percentage of households, water erosion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos pontos de coleta de solos da área de estudo no município de Pesqueira-PE .....	13
Figura 2. Perfís dos solos da Bacia representativa do Alto Ipanema Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (A), Neossolo Flúvico (B) e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (C) EMBRAPA (2006).....	14
Figura 3. Simulador de chuva (A) motor com sistema eletrônico e manômetro, (B) armação retangular e quatro pés de tubos de aço.....	15
Figura 4. Relação entre intensidade média da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa) da chuva simulada.....	17
Figura 5. Característica da parcela experimental lateral (A), drenos (B), coletor (C), calha coletora (D).....	19
Figura 6. Aparatos de determinação da resistência a penetração do solo.....	27
Figura 7. Parcela com solo sem cobertura morta (A), parcela com solo com cobertura morta (B), coleta da amostra para análise micromorfológica (C), amostra indeformada para impregnação (D). .....	29
Figura 8. Relação entre o escoamento superficial e tempos (0h, 24h e 48h) para três tipos de solos, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM). .....	39
Figura 9. Relação entre as taxas infiltração e tempos de aplicação das chuvas simuladas (0h, 24h e 48h) para três tipos de solos, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM). .....	41
Figura 10. Detalhes micrografias da camada superficial em razão de duas lâminas de chuva aplicadas após 0h e 48h sem cobertura morta (SCM). .....	46
Figura 11. Detalhes micrografias da camada superficial em razão de duas lâminas de chuva aplicadas após 0h e 48h com cobertura morta (CCM). .....	50

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Características físico-químicas dos três solos em estudo: Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico da área experimental, na camada 0 -20cm de profundidade.....20
- Tabela 2. Distribuição de percentual dos agregados nas diferentes classes, diâmetro médio ponderado (DMP) e módulo de finura (MF) para os três tipos de solos da bacia representativa do Alto Ipanema, Pesqueira-PE. ....31
- Tabela 3. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr) e o coeficiente de rugosidade de Manning (n), para os diferentes tipos de solos sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM). ....33
- Tabela 4. Descarga líquida, velocidade de escoamento, altura de escoamento, e viscosidade cinemática para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM), para estudo de práticas de conservações.....34
- Tabela 5. Perda de solo, taxa de desagregação e perda de água, para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM).....35
- Tabela 6. Escoamento superficial, infiltração e tempo inicial de escoamento para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM). ....37
- Tabela 7. Percentual de umidade para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM), antes da aplicação de chuva e após a aplicação de três chuvas sucessivas, separadas por 24h. ....38
- Tabela 8. Resistência à penetração (RP) e percentual de umidade (U) para os diferentes solos, na camada de 0-0,02m, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM), após a aplicação das três chuvas sucessivas, separadas por 24h. ....42
- Tabela 9. Descrição micromorfológica dos três tipos de solos em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h sem cobertura. ....44
- Tabela 10. Descrição micromorfológica dos três tipos de solos em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h com cobertura. ....48

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESES.....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
3. 1 GERAL .....	4
3. 2 ESPECÍFICOS .....	4
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
4. 1 REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL .....	5
4. 2 EROÇÃO DO SOLO .....	6
4. 3 O USO DE COBERTURA MORTA .....	7
4. 4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	8
4. 5 SELAMENTO SUPERFICIAL .....	9
4. 6 USO DE SIMULADORES DE CHUVAS EM ESTUDO DE EROÇÃO E SELAMENTO SUPERFICIAL ...	11
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
5. 1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDA .....	13
5. 2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	14
5. 3 CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVA .....	15
5. 4 CARATERÍSTICAS DA PARCELA EXPERIMENTAL.....	18
5. 5 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS .....	19
5. 6 DETERMINAÇÃO DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS.....	20
5. 7 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	21
5. 8 AVALIAÇÃO DA PERDA DE ÁGUA.....	24
5. 9 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE DESAGREGAÇÃO E PERDAS DE SOLO .....	24
5. 10 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NA ENXURRADA.....	25
5. 11 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO .....	26
5. 12 ANÁLISE DE SELAMENTO SUPERFICIAL DO SOLO .....	27
5. 13 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	30
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
6. 1 ESTABILIDADE DE AGREGADOS .....	31

6. 2 CARATERÍSTICA DA HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	33
6. 3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E TAXAS DE INFILTRAÇÃO.....	36
6. 4 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO .....	42
6. 5 SELAMENTO SUPERFICIAL .....	43
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos e a rápida expansão populacional no Brasil e no mundo, levam a expansão de mais áreas agrícolas, contribuem para o desmatamento indiscriminado e, principalmente, para a eliminação das florestas para serem usadas com lavouras e pastagens. Os solos na região semiárida são manejados muitas vezes de forma incorreta, ocasionando perturbações e levando a diminuição da fertilidade, resultando na queda da produção e como consequências têm-se o agravamento das perdas de água e solo, além do prejuízo à biodiversidade. Decorrente do manejo inadequado, o solo pode apresentar crostas em sua superfície, reduzindo a capacidade de infiltração de água e favorecendo o escoamento superficial, bem como dificultando a emergência das plântulas e afeta o crescimento do sistema radicular das culturas.

A falta de cobertura no solo deixa-o propício para a erosão hídrica, que segundo Cassol et al. (2003), ocorre pela ação das gotas da chuva e do escoamento superficial da água, onde o impacto das gotas de chuva é o fator responsável pela desagregação do solo, podendo desprender grandes quantidades de partículas em função da energia cinética, que exerce forças de compressão e cisalhamento no ponto de impacto. Áreas sem a presença de cobertura vegetal sofrem maior intensidade de erosão hídrica por ação da enxurrada, decorrente da energia do impacto das gotas de chuva que desagregam e transportam as partículas do solo com maior facilidade, enquanto que as áreas que possuem cobertura com resíduos vegetais sofrem menor erosão hídrica (SILVA et al., 2010). A ação direta da chuva na superfície do solo e a deposição de partículas, decorrentes da quebra dos agregados, provocam a modificação da estrutura superficial do solo, levando ao desenvolvimento de selo na superfície.

O selamento superficial do solo ocorre nos primeiros centímetros, influenciando os processos ecológicos e a biota, ocorrendo vários problemas na estrutura, resultando em entupimento dos poros do solo e, conseqüentemente, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, o que afeta diretamente a produção na região semiárida.

O processo de formação do selamento na superfície do solo pode ser monitorado diretamente por meio da mudança da morfologia ou indiretamente por diminuição da capacidade de infiltração ou aumento da resistência na superfície (ROSA et al., 2013). O uso da análise micromorfológica do solo permite observar a estrutura e os componentes do selamento, possibilitando visualizar o comportamento da estrutura e o espaço poroso em

regiões sob processo de degradação (LIMA et al., 2005). Além disso, a utilização deste mecanismo pode detalhar as mudanças micromofológicas da estrutura superficial do solo e as consequências sobre a porosidade, condutividade e infiltração de água que são de grande importância para estas regiões, que apresentam uma grande escassez de recursos hídricos.

A adoção de boas práticas agrícolas que, segundo Carvalho et al. (2012), podem contribuir para um manejo adequado do solo, deve proporcionar máxima retenção da água da chuva, incremento da infiltração no perfil do solo, diminuição da velocidade de escoamento superficial, aumento da capacidade de armazenamento da água no solo, e favorecimento das características físicas e químicas do solo para o desenvolvimento das culturas.

Em virtude dos argumentos mencionados é importante a investigação das características do solo que influenciam a sua resistência aos processos erosivos, a fim de propor medidas que possam mitigar a degradação dos mesmos.

## **2. HIPÓTESES**

- a) Os solos com a utilização de cobertura morta apresentam menores perdas de água e solo.
- b) Solos com características físico-químicas distintas apresentam diferentes tendências à formação de selamento superficial.
- c) Os distintos solos da bacia do Alto Ipanema apresentam diferentes taxas de erosão hídrica em função das suas características.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GERAL**

Avaliar o selamento superficial, relacionando-o com a susceptibilidade à erosão dos principais solos da Bacia representativa do Alto Ipanema, com e sem a utilização de cobertura morta.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Avaliar a infiltração da água nos solos representativos da Bacia do Alto Ipanema.
- Investigar o escoamento superficial.
- Investigar o uso da cobertura morta sobre o solo, para reduzir o processo de erosão hídrica.
- Analisar a resistência da camada superficial do solo à penetração
- Avaliar as características dos solos relacionadas com a erodibilidade e com formação do selamento superficial.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL**

Um terço da superfície da terra é coberta pelas regiões semiáridas, sobre elas vivem aproximadamente 20% da população mundial. O semiárido brasileiro é composto por zonas de alta fragilidade com regime de precipitação pluviométrica de alta variabilidade espacial e temporal (ANDRADE et al., 2010; SANTOS et al., 2011). Caracteriza-se pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando um período de estiagem que ocorre de setembro a dezembro, e um período chuvoso, de março a junho, com chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de solo, podendo afetar negativamente o meio ambiente e a população (SANTOS et al., 2009). Segundo Araújo (2006), esta característica é resultado de um conjunto de fatores que incluem as propriedades fisiográficas da região e a influência de vários sistemas atmosféricos.

A precipitação média se encontra numa amplitude que varia de 268 a 800 mm anuais distribuídos de três a cinco meses, com elevadas taxas de evapotranspiração, em média 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, proporcionando déficit de umidade no solo durante a maioria dos meses do ano (SILVA, 2006).

A região semiárida do Nordeste apresenta limitação quanto à disponibilidade de recursos hídricos, devido a dois fatores: solos rasos, com baixa capacidade de retenção de água, e regime pluviométrico irregular, com chuvas mal distribuídas temporal e espacialmente. A produtividade média das atividades agropecuárias nessa região é muito baixa, chegando a níveis extremos em períodos de seca (SANTOS et al., 2008).

O clima no semiárido apresenta um ambiente de contrastes com muita mudança. A exploração insustentável de recursos limitados como solo e água, resulta em sua escassez, com reflexos negativos para esta região (RODRIGUES, 2009; ANDRADE et al., 2010).

Na região semiárida, Silva et al. (2011) comprovaram a importância da cobertura vegetal nativa (caatinga), encontrando as menores perdas de água observadas em relação ao solo exposto, fato que pode ser explicado pela interceptação das gotas de chuvas pelo dossel da vegetação que, mesmo não possuindo um extrato vertical muito diversificado, protege e diminuído a erosão do solo.

## 4.2 EROSÃO DO SOLO

A erosão é um fenômeno cujos impactos causados sobre os recursos naturais renováveis têm preocupado governos e entidades institucionais em todo o mundo. A magnitude desse fenômeno tem sido considerada uma ameaça à própria existência da humanidade (ALBUQUERQUE et al., 2005).

A erosão hídrica do solo é um processo físico que ocorre naturalmente, devido, principalmente, à ação das chuvas (ESLAMI et al. 2013), e apresenta elevado potencial de redução da capacidade produtiva dos solos, podendo afetar os recursos hídricos superficiais (MELLO et al., 2007). Esse processo consiste no impacto das gotas de chuva, na desagregação, no transporte e na deposição de partículas do solo e torna-se mais intenso devido ao escoamento superficial influenciado pela declividade do terreno e por ações antrópicas (LESSA et al., 2007; SILVA et al., 2010; RAMOS et al., 2011; CEMIN et al., 2013). A erosão hídrica do solo pode ocorrer de diferentes formas, sendo as mais comuns a laminar, em sulcos e, num estágio mais avançado, formando voçorocas (AKSOY & UNAL, 2012).

A chuva é o fator climático mais importante com relação à erosão, cuja ação negativa ocorre com interrupção da estabilidade adquirida ao longo do tempo entre o solo, a vegetação e os organismos do solo, em geral pela intervenção do homem (MEHL, 2000; MELLO et al., 2012).

O conhecimento das taxas de erosão do solo é importante para a compreensão da evolução do relevo como também para avaliação dos impactos das atividades humanas sobre estas taxas (PARSONS et al., 2010). A avaliação do processo erosivo para determinar a quantidade de solo, água e nutrientes perdidos é essencial para adoção de medidas de manejo e conservação de solo e água (CARVALHO et al., 2014).

No semiárido, Silva Junior et al. (2011) relatam que a erosão hídrica é um dos principais processos responsáveis pela degradação física dos solos, devido às chuvas de alta intensidade nos períodos mais secos. Segundo Zhao et al. (2013), a erosão do solo é um grave problema, resultando em perdas de produtividade no local, na degradação ecológica, uma armadilha de pobreza para os habitantes locais e graves problemas ambientais.

Silva e Santos (2012), estudando a Bacia Experimental de São João do Cariri, localizada no semiárido paraibano, quantificaram as perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas com vegetação de caatinga e com solo exposto. De acordo com os autores, as menores perdas

de solos foram observadas na parcela com vegetação, e variaram de 0,01 a 0,12 t ha<sup>-1</sup>, com uma média de 0,05 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A parcela sem vegetação apresentou média de 0,22 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, variando de 0,09 a 0,39 t ha<sup>-1</sup>.

Carvalho et al. (2014) avaliaram a Erosão Potencial Laminar Hídrica em um Latossolo Vermelho Amarelo sob três formas de cultivo: solo exposto, pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e área manejada com o consórcio milho e braquiária (integração lavoura-pecuária). As perdas de solo e água foram, respectivamente: 117,79 t ha<sup>-1</sup> e 2,37 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; 94,68 t ha<sup>-1</sup> e 2,09 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; 20,50 t ha<sup>-1</sup> e 1,69 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para o solo exposto, braquiária e braquiária com milho, respectivamente, constatando a importância na cobertura do solo em relação as perdas hidrossedimentológicas.

#### **4.3 O USO DE COBERTURA MORTA**

As técnicas conservacionistas são de grande importância para o manejo em regiões que apresentam problemas de escassez de água, como o uso de cobertura morta, que é de baixo custo e proporciona uma redução do escoamento superficial, aumento na infiltração e umidade do solo e incrementa a produção agrícola, conforme Santos et al. (2011).

A utilização de resíduos vegetais sobre a superfície do solo é responsável por amortecer as gotas de chuva servindo como interceptadores, fazendo com que seja dissipada a energia, evitando a desagregação das partículas e desenvolvimento de selo na superfície dos solos e levando à redução da velocidade da enxurrada, diminuindo a capacidade de desagregação e transporte de solo (SANTOS et al., 2009). A cobertura morta reduz danos que são causados pelas gotas de chuva no solo e com isto proporciona aumento da umidade, uma diminuição do escoamento, erosão hídrica e o controle de temperatura dos solos (JORDÁN et al., 2010; MONTENEGRO et al., 2013).

Shen et al. (2012) observaram que o efeito de diferentes densidades de cobertura morta no solo variando de 0,6 e 12 t ha<sup>-1</sup>, influenciou o conteúdo de água do solo e diminuiu o escoamento superficial melhorando a produção agrícola da área. Montenegro et al. (2013) constataram que a utilização de cobertura de solo com palha de arroz aumentam a eficiência hídrica, protegendo o solo do aquecimento e prevenindo perdas por erosão. Lima et al. (2015) constataram que resíduos vegetais sobre a superfície do solo auxiliaram como dissipadores da energia cinética da chuva, propiciando um aumento no tempo de infiltração de água no solo, e redução na desagregação das partículas do solo.

Montenegro et al. (2013), observaram que a aplicação de palha sobre a superfície do solo é eficaz para a diminuição do transporte de sólidos totais, de aproximadamente 82% e 92%, quando aplicado 4 Mg ha<sup>-1</sup> e 8 Mg ha<sup>-1</sup> de coberturas no solo, respectivamente, usando um simulador de chuva.

Schaefer et al. (2002) observaram a formação de selo em razão da porcentagem de cobertura do solo, onde notaram que os solos mais expostos, com cobertura variando de 0 a 20 %, apresentaram formação de selamento superficial do tipo erosional, enquanto os solos com 100% de cobertura superficial não apresentaram selo. Os sistemas conservacionistas mobilizam minimamente o solo para manter a maior parte dos resíduos culturais sobre o mesmo, como uma estratégia para evitar a erosão porém, ainda é incipiente o conhecimento sobre o processo de formação de selo em condições de preparos conservacionistas, segundo Rosa et al. (2013).

Santos et al. (2009) observaram que o uso de cobertura morta sobre a superfície do solo contribuíram para diferentes velocidades de escoamento superficial em parcelas experimentais no semiárido pernambucano, contribuindo para maiores taxas de infiltração no solo.

#### **4.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

O estudo do escoamento superficial tem sido abordado por diversos pesquisadores como subsídio na determinação da capacidade de desagregação e formação de erosão laminar e em sulcos (SANTOS et al., 2009; MONTENEGRO et al., 2013 e LIMA et al., 2015). O escoamento superficial consiste no deslocamento do fluxo de água sobre a superfície do solo, e apresenta um importante papel no processo erosivo, por remover partículas de solo (GRIEBELER et al., 2001). A topografia do terreno é um fator importante, tanto pela declividade como pelo comprimento das rampas, e exerce acentuada influência sobre a erosão e as perdas de água por escoamento superficial. Quanto maior a declividade do terreno, maior será a ação exercida pela força da gravidade, oferecendo menor resistência ao livre escoamento das águas, resultando em um menor tempo disponível para a infiltração da água no solo (COGO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2013).

Segundo Oliveira et al. (2010), a capacidade de infiltração tende a ser menor em solos mais úmidos, e a desagregação do solo, provocada pelo impacto das gotas da chuva, também é favorecida, causando o selamento superficial e o escoamento superficial.

Ran et al. (2012) realizaram um experimento para avaliar o impacto de características da chuva na geração do escoamento. Os autores estudaram alguns fatores: diferentes intensidades, durações de chuva, direções e posições da chuva e a ocorrência ou não de intervalos de precipitações. Observaram que os intervalos entre as precipitações são fatores importantes na ocorrência de fenda do solo e, conseqüentemente na geração do escoamento.

Carvalho et al. (2012) estudaram o escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão, em Piracicaba - SP, objetivando avaliar o efeito de diferentes condições de cobertura de solo (feijão, gramínea e solo nu) e diferentes práticas de controle de erosão (sulco de infiltração, terraço de infiltração e sem práticas de controle de erosão), observando que o solo nu apresentou a mais alta perda de água e o capim proporcionou perda intermediária de água, não diferindo estatisticamente da cobertura de feijão.

Santos et al. (2009) em estudo no semiárido pernambucano, observaram que o uso de diferentes manejos do solo contribuíram para diferenças na velocidade de escoamento, em parcelas experimentais de  $0,06 \text{ m m}^{-1}$  de declividade.

Cardoso et al. (2012) afirmam que a cobertura protege o solo de selo em sua superfície e reduz a perda d'água por evaporação e o impacto direto das gotas da chuva, pois aumenta a permeabilidade do solo à água, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, o processo erosivo do solo.

#### **4.5 SELAMENTO SUPERFICIAL**

Diversos estudos definem o selamento superficial como camadas adensadas que são formadas na superfície do solo, as quais variam de espessura de poucos milímetros a alguns centímetros, que quando estão secas ficam mais duras do que o material que está abaixo delas (VALENTIN & BRESSOR, 1992; CURI et al., 1993; BRANDÃO et al., 2007; ROSA et al., 2013).

Ainda não existe na literatura um consenso sobre a denominação atribuída à camada endurecida na superfície do solo, por isso recebe diferentes nomes como: crostas de superfície, encrostamento superficial do solo, selamento superficial ou endurecimento superficial do solo (BERTOL et al., 1989; REICHERT et al., 1992; CHIANG et al., 1994; RAJOT et al., 2003; FOX et al., 2004; BRANDÃO et al., 2007; ROSA et al., 2013).

Os três principais tipos de selo do solo são estruturais, deposicionais e erosionais. As estruturais são crostas formadas pelo rearranjo *in situ* de microagregados e partículas como resultado do distúrbio da estrutura do solo que foi provocada por impacto direto das gotas de chuva na superfície. As crostas deposicionais são resultante da acumulação de partículas em microdepressões e estão relacionadas ao processo de sedimentação, cujas partículas grossas e finas estão associadas a condições hidrodinâmicas do escoamento superficial do solo (VALENTIN & BRESSON, 1992; BRANDÃO et al., 2007). As crostas erosionais são formadas por camada superficial rígida e lisa de pequenas partículas finas, é o resultando da erosão das crostas estruturais (CHEN et al., 1980; BRANDÃO et al., 2007).

A formação de selamento superficial é um processo de reações físico-químicas, observada em solos cultivados expostos à chuva sem a presença de cobertura, caracterizando-se pelo endurecimento da camada superficial que fica na interface do solo com a atmosfera, decorrente do impacto direto das gotas das chuvas no solo, fatores que podem reduzir a infiltração, aumentar o escoamento superficial e acelerar o processo de erosão do solo, conforme Brandão et al., (2007). Isto é uma ação direta na superfície do solo levando à deposição de partículas, por conta da quebra dos agregados, provocando modificação na estrutura superficial do solo, e iniciando o desenvolvimento de selo na superfície.

Os fatores que influenciam o selamento da superfície do solo são: textura, estabilidade de agregados, matéria orgânica presente no solo, quantidade de sódio, práticas culturais com vários métodos de cultivo, topografia, intensidade da precipitação, conteúdo de água presente no solo e cobertura vegetal (BRADFORD & HWANG, 1992; GRAEF & STAHR, 2000; FOX et al., 2004; ROSA et al., 2013). A textura e o teor de matéria orgânica influencia na estabilidade de agregado do solo e é responsável por contribuir na formação de selamento superficial (ROBINSON & PHILLIPS, 2001; SCHAEFER et al., 2002; ROSA et al., 2013).

Conforme Fox et al. (2004), a maioria dos solos forma selo em sua superfície, exceto areia grossa e solos pedregosos, solos com alta quantidade de lodo ou conteúdo de areia fina, formam selamento mais facilmente devido à baixa estabilidade de agregação; a forte tendência de formação de selo nestes solos é devido ao baixo teor de argila, inferior a 15%.

Alguns autores afirmam que solos arenosos não cultivados podem formar selo dividido à colonização por algas e outras microfloras que se espalham na superfície, sendo eficientes na proteção do solo contra a erosão (GILLETTE et al. 1982; LEYS & ELDRIDGE 1998 e RAJOT et al. 2003).

Segundo Zonta et al. (2012) o selamento superficial do solo pode ser evitado com o uso de restos culturais na superfície do solo e, com isto pode favorecer o aumento da infiltração, permitindo a entrada de água no solo e proporcionando manutenção de água no perfil.

As características físicas como textura e estrutura são os maiores influenciadores na movimentação da água no solo, interferindo diretamente na condutividade hidráulica e taxa de infiltração, segundo Schaefer et al. (2002) e Brandão et al. (2007). Estes autores também evidenciam que solos expostos desenvolvem selamento mais rápido pela destruição dos agregados do solo, que pode afetar a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração. Castro et al. (2006) afirmam que, se já houver ocorrido o selamento na superfície do solo, a cobertura morta não vai mais auxiliar a infiltração, especialmente em solos que são muito cultivados.

#### **4. 6 USO DE SIMULADORES DE CHUVAS EM ESTUDO DE EROSÃO**

O simulador de chuva é uma ferramenta de investigação que vem sendo utilizada tanto em campo quanto em laboratório para caracterizar os processos de infiltração, escoamento, erosão, transporte de nutrientes e selo superficial (AKSOY et al., 2012; LIMA et al., 2015). Como as chuvas naturais são consideradas agentes que ativam o processo da erosão hídrica, é preciso conhecer e avaliar os solos agrícolas para os diferentes eventos de chuva (CARVALHO et al., 2009). Por falta de disponibilidade de séries de dados históricos de eventos longos pluviométricos, autores como Lima et al. (2015), Montenegro et al. (2013), Santos et al. (2009) e Silva et al. (2005) têm realizado pesquisas com chuvas artificiais, como as reproduzidas por simuladores, possibilitando investigar a erosão hídrica em curto tempo.

As chuvas simuladas, de características desejáveis, são muito utilizadas em estudos hidrológicos para representar a intensidade da chuva, o tamanho da gota e a velocidade com que a chuva se distribui na parcela, segundo Clarke e Walsh (2007). Faz-se importante que as precipitações simuladas apresentem características o mais próximo possível das chuvas naturais, aumentando a confiabilidade entre a relação mecânica e técnica (MONTEBELLER et al. 2001). As chuvas produzidas por um simulador, para que sejam consideradas satisfatórias, devem apresentar coeficiente de uniformidade de distribuição acima de 80% e uma relação entre a energia cinética da precipitação simulada e a da chuva natural acima de 75%, conforme Montebeller et al. (2001).

Lima et al. (2015) observaram um coeficiente de uniformidade de distribuição acima de 80% para chuvas simuladas em estudos de práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas

relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. Oliveira et al. (2010) verificaram que a intensidade de precipitação pluviométrica durante o tempo de ocorrência das chuvas simuladas, bem como a energia cinética acumulada, não variaram em comparação com outros tratamentos de intensidade constante, sendo esta igual a  $6,9138 \text{ MJ ha}^{-1}$  para todos os padrões de precipitação estudados.

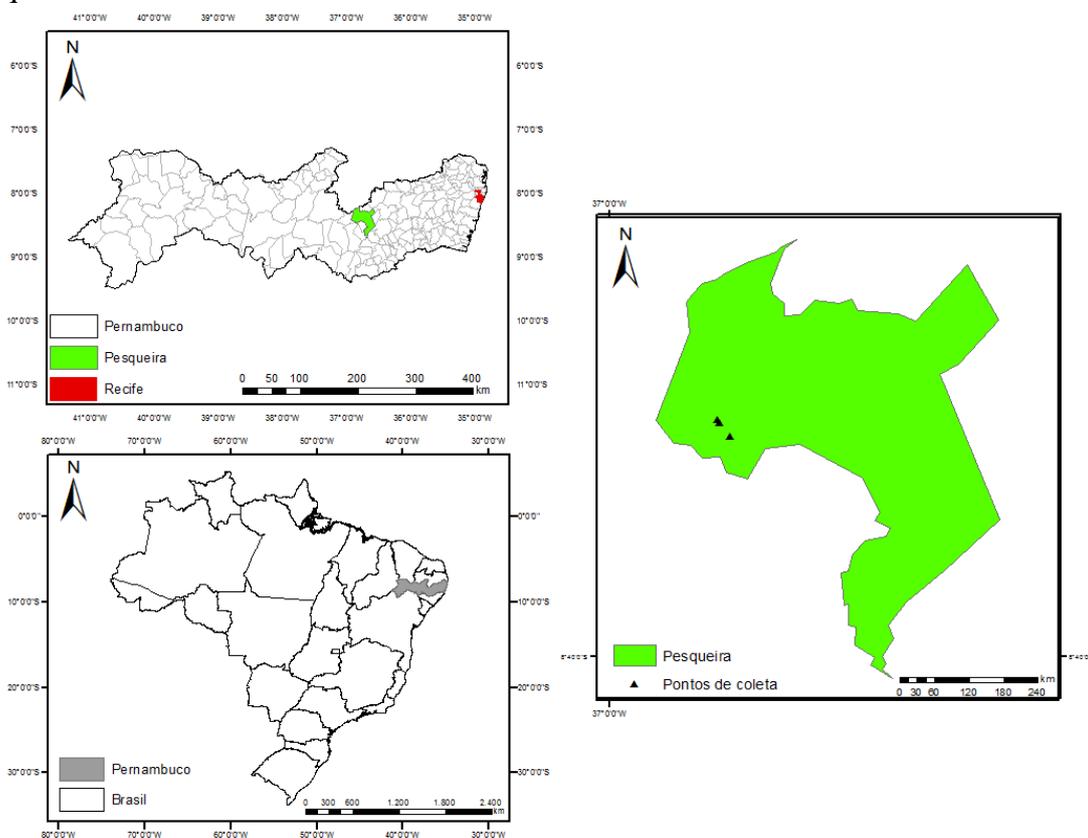
Santos et al. (2009), utilizando simulador de chuva com intensidade de precipitação de  $60 \text{ mm h}^{-1}$  no Agreste pernambucano, observaram que o solo sem cobertura apresentou perdas de água de até 90% da lâmina aplicada.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDA

O presente estudo foi realizado com três classes de solos da bacia representativa do Alto Ipanema que está localizada no município de Pesqueira, Pernambuco, Brasil (Figura 1). A área está entre as coordenadas geográficas: Latitude 08°21'28" (S) e Longitude 36°41'45" (W) com altitude de 654 m.

Figura 1. Localização dos pontos de coleta de solos da área de estudo no município de Pesqueira-PE

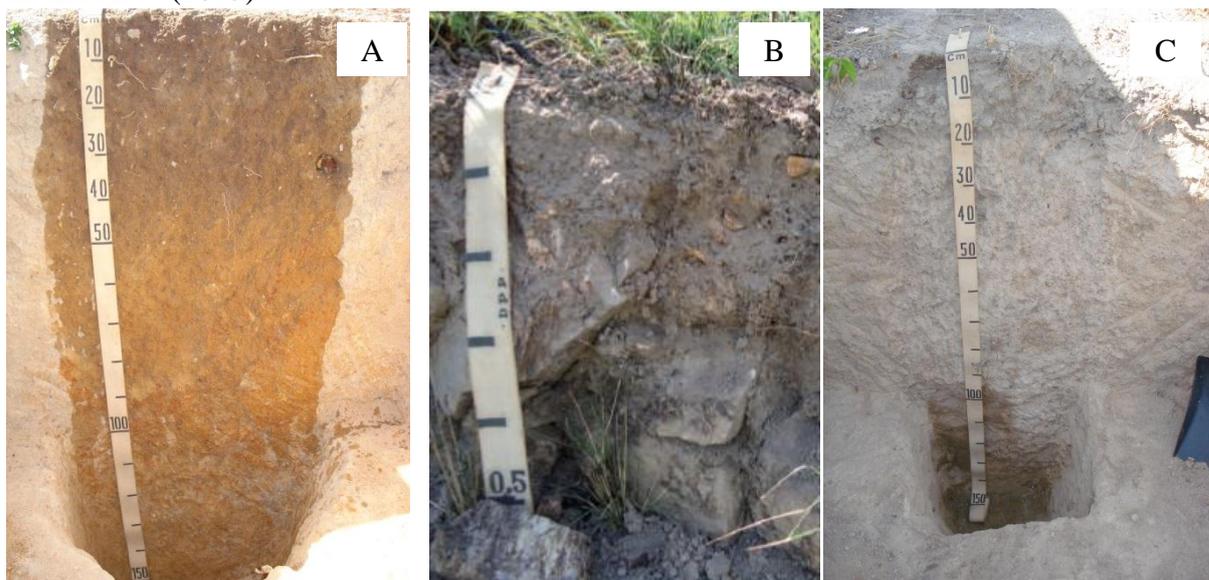


O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 23°C, evapotranspiração potencial anual média de 2000 mm, e precipitação total anual média de 607 mm (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2006). O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é de 0,44 classificando-se como semiárido. A composição da vegetação é tipicamente Caatinga, com espécies de porte herbáceo a arbóreo-arbustivo, tipicamente caducifólio de caráter xerófilo

com grande variedade de espécies espinhosas.

Os solos utilizados foram classificados segundo EMBRAPA (2006) como: Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico; Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico, características dos perfis dos solos (Figura 2 A, B e C).

Figura 2. Perfis dos solos da Bacia representativa do Alto Ipanema Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico (A), Neossolo Flúvico (B) e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (C) EMBRAPA (2013).



## 5. 2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Os solos foram coletados em janeiro de 2015 em três áreas diferentes, com uma profundidade de 0 – 20 cm, e acondicionados em sacos de 30 kg. Após a coleta, os solos foram transportados para o laboratório da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, para secagem ao ar e depois se realizou o peneiramento utilizando uma peneira de 4 mm, conservando-se assim a microagregação.

Em seguida, os solos foram acomodados nas parcelas experimentais conforme a densidade medida em campo. Para a realização da avaliação do comportamento dos solos antes os fatores erosivos, adotou-se dois tipos de tratamentos, sem e com a presença de palha, a cobertura morta utilizada foi capim (*Brachiaria decumbens*) seco ao ar, onde a densidade utilizada foi de 3 Mg ha<sup>-1</sup>. As avaliações foram realizadas no Laboratório de Máquinas e Implementos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola.

### 5.3 CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVA

Utilizou-se um simulador de chuvas (Figura 3, A e B) com 3m de altura em relação ao nível do solo e 2m de altura do bico até a superfície da parcela, formado por uma armação retangular e apoiado sobre quatro pés de tubos de aço removíveis, o qual possui um motor com sistema eletrônico que realiza movimentos oscilantes, com um bico aspersor tipo Veejet 80-100 (SANTOS 2006). O simulador foi alimentado por uma bomba centrífuga que capta água de um caixa de capacidade de 1000 L.

Figura 3. Simulador de chuva (A) motor com sistema eletrônico e manômetro, (B) armação retangular e quatro pés de tubos de aço.



Foram simuladas chuvas representando dados provenientes de uma avaliação histórica de 29 anos de observações na bacia representativa do Alto Ipanema (SANTOS & MONTENEGRO, 2012). A precipitação teve uma duração de 30 minutos e uma intensidade de  $96,6 \text{ mm h}^{-1}$ , representando um tempo de retorno de 2 anos, e probabilidade de ocorrência de 75%, com índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) de  $2.415,33 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

A energia cinética por milímetro de chuva foi considerada igual a  $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , segundo recomendação de Wischmeier & Smith (1958), para intensidades superiores a  $76 \text{ mm h}^{-1}$  (SANTOS & MONTENEGRO, 2012).

A energia cinética por incremento ( $E_{ci}$ ) de chuva foi então determinada pela equação 1:

$$E_{ci} = E_c \text{Vol.} \quad (1)$$

em que:

Vol - quantidade de chuva do incremento (lâmina precipitada), (mm);

$E_c$  - Energia cinética por milímetro em  $\text{MJ ha}^{-1}$ )

A energia cinética total foi obtida pelo somatório da energia cinética de cada incremento, sendo igual a  $25,15 \text{ MJ ha}^{-1}$

Foi utilizado um coeficiente igual a 0,78 para conversão da energia cinética da chuva simulada, conforme recomendado por Young e Burwell (1972).

Logo, a erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) foi calculada pela equação 2:

$$EI_{30} = E_{ct} I_{30} \quad (2)$$

em que:

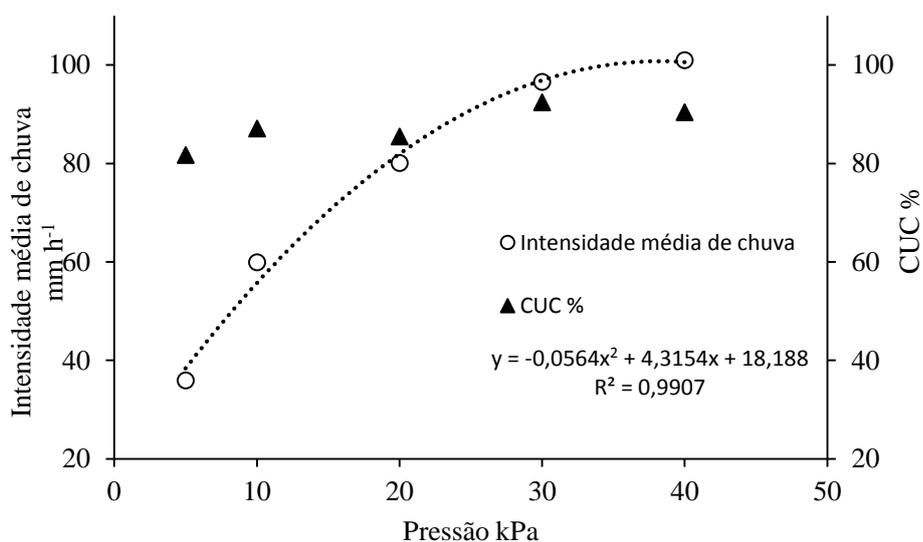
$EI_{30}$  - Índice de erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ );

$E_{ct}$  - energia cinética total,  $\text{MJ ha}^{-1}$  de chuva;

I - intensidade de precipitação em 30 minutos, ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Para observação da influência do selamento superficial nas taxas erosivas, foram aplicadas três chuvas sucessivas espaçadas de 24 horas (0h, 24h e 48h). Calibração do simulador de chuva Figura 4.

Figura 4. Relação entre intensidade média da chuva (mm h<sup>-1</sup>) e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa) da chuva simulada.



Para se atingir a intensidade de precipitação adequada, foram realizados testes de calibração no simulador de chuvas com duração de 15 minutos para as pressões de 5, 10, 20, 30 e 40 kPa. A pressão de serviço de 30 kPa foi a capaz de atingir a intensidade desejada de 96,6 mm h<sup>-1</sup>. Utilizou-se 15 pluviômetros, distribuídos em uma área de 1 por 0,5m área da parcela, em que determinou-se a intensidade de precipitação das chuvas simuladas (equação 3):

$$I = \frac{V_{pl} / A_{pl}}{t} \quad (3)$$

em que:

I- intensidade média da chuva (mm h<sup>-1</sup>);

V<sub>pl</sub> - volume médio dos 15 pluviômetros (ml ou cm<sup>3</sup>);

A<sub>pl</sub> - área dos pluviômetros (cm<sup>2</sup>);

t - tempo total de duração do teste (h).

Através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (1942) foi determinada a uniformidade de distribuição das chuvas simuladas (equação 4):

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right) \quad (4)$$

em que:

CUC- coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

$X_i$  - lâmina precipitada em cada coletor (mm);

$\bar{X}$  - lâmina média precipitada (mm);

n - número de coletores.

#### **5. 4 CARATERÍSTICAS DA PARCELA EXPERIMENTAL**

Foram utilizadas três parcelas em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com três tipos de solos e três aplicação de chuva, sem e com cobertura morta, as parcelas tem dimensões de 1,00m de comprimento, 0,50m de largura, 0,20m de profundidade e declividade de 0,09 m m<sup>-1</sup>. Na parte inferior da parcela, foram instalados três drenos, espaçados de 0,17m, que conduziram a água percolada através de um único dreno coletor. E uma calha na parte inferior que permitiu a coleta, por meio de uma proveta, de toda a água do escoamento superficial, com intervalos de cinco minutos e cada coleta teve uma duração de dez segundos (Figura 5).

Figura 5. Característica da parcela experimental lateral (A), drenos (B), coletor (C), calha coletora (D).



### 5.5 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na camada de 0-20 cm para a caracterização física e química dos solos, para determinação dos seguintes atributos físicos: análise granulométrica, realizada pelo método do densímetro, com estimativa da argila dispersa total usando hidróxido de sódio como dispersante; argila dispersa em água pelo método do densímetro; densidade do solo determinada pelo método do anel volumétrico, e adensidade de partículas pelo método do balão volumétrico; o grau de flocculação foi calculado com base nas quantidades de argila total e argila dispersa em água; a condutividade hidráulica ( $K_o$ ) pelo método do permeâmetro de carga constante EMBRAPA (2011).

Para a caracterização química dos solos foram determinados: pH em KCl, utilizando um potenciômetro; utilizou-se o extrato de saturação do solo para a determinação da condutividade elétrica, no condutivímetro de leitura direta; o sódio e o potássio foram extraídos com Mehlich e determinados por fotometria de emissão de chama; o Ca e Mg foram

extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrometria de absorção atômica; a acidez potencial (H+Al), extraída por acetato de cálcio pH 7 e determinada por titulação com NaOH; o alumínio foi determinado por extratos de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e avaliado por titulometria; a matéria orgânica do solo foi determinada pelo método volumétrico do dicromato de potássio e avaliado por titulometria EMBRAPA (2011).

As características físicas e químicas dos solos utilizados no experimento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas dos três solos em estudo: Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico da área experimental, na camada 0 -20cm de profundidade.

Solo	Areia t.	Areia g.	Areia f.	Argila	Silte	ADA	Gf	Pt*	Ds	Dp	K <sub>0</sub>	Classe textural
	g kg <sup>-1</sup>					%	g cm <sup>3</sup>		cm h <sup>-1</sup>			
Argissolo abruptico	722	529	185	167	113	6,8	79,92	52	1,45	2,76	30,7	Franco Arenoso
Neossolo Flúvico	613	409	204	207	180	7,6	79,5	51	1,43	2,76	17,8	Franco Argilo Arenoso
Argissolo Típico	679	405	274	170	151	7,2	76,72	57	1,45	2,52	22,6	Franco Arenoso

Solo	pH	CE	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	MO	C
	H <sub>2</sub> O	μS cm <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					g Kg <sup>-1</sup>		
Argissolo abruptico	6,05	153,72	15,5	25	2,05	0,43	1,1	27,2	24,02	13,96
Neossolo Flúvico	5,80	168,20	34,5	37	1,54	0,87	0,9	27,2	25,15	14,62
Argissolo Típico	6,00	126,42	17,5	18	1,54	0,65	1,2	26,4	18,74	10,9

Legenda: Areia total (Areia t.), areia grossa (Areia g.), areia fina (Areia f.), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (Gf), porosidade total (Pt\*), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), condutividade hidráulica (K<sub>0</sub>).

## 5. 6 DETERMINAÇÃO DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS

A estabilidade de agregados em água foi determinada pelo método de Kemper e Chepil (1965), utilizando um aparelho de oscilação vertical (YODER, 1936), através de peneiramento em água após pré-umedecimento lento dos agregados por capilaridade.

Para a determinação da estabilidade de agregados 100g do solo foram umedecidos e, posteriormente, colocados em dois conjuntos de cinco peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm; em seguida, os conjuntos de peneira foram submetidos à agitação vertical (42 ciclos por minuto) durante 15 minutos, em recipiente com água.

O material retido em cada peneira foi colocado em recipientes para secagem em estufa a 105°C, durante 24 horas. Os valores do diâmetro médio ponderado, DMP (KEMPER & ROSENAU, 1986), do módulo de finura, MF (FREIRE & PIEDADE JR., 1979) e o AGRI,

somatório dos percentuais, a 2,00 mm, AGRI (WENDLING et al., 2005), foram determinados segundo as equações 5, 6 e 7:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (cp * p) \quad (5)$$

$$MF = \sum [(4 - 2) + (2 - 1) + (1 - 0,5) + (0,5 - 0,25) + (< 0,25)] \div 100 \quad (6)$$

$$AGRI = w_{i>2} * 100 \quad (7)$$

Onde:

Cp - É o centro de cada classe de peneira;

P - O peso seco da amostra (%);

MF- Módulo de finura dos agregados;

$\Sigma$  - Somatório da porcentagem acumulada de agregados em cada classe;

w<sub>i>2</sub> - Representa a proporção de agregados >2,00 mm.

## 5.7 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para obtenção da velocidade do escoamento superficial foi cronometrado o tempo gasto para o corante azul percorrer a parcela em uma distância de 1 m entre dois pontos fixos. Os testes foram realizados com intervalos de 5 minutos a partir do início do escoamento, para a determinação da velocidade de escoamento, ao mesmo tempo houve a coleta da enxurrada, a partir da formação e deslocamento da lâmina.

Foi usado um fator de correção ( $\alpha=2/3$ ) para obtenção da velocidade do escoamento superficial, que deu o valor médio do escoamento, em m s<sup>-1</sup>, segundo Farenhorst e Bryan (1995); Katz et al., (1995). Obteve-se a altura da lâmina do escoamento (h) pela equação 8:

$$h = \frac{q}{V} \quad (8)$$

em que:

h - altura da lâmina de escoamento (m);

q - descarga líquida total por unidade de largura em ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

V - velocidade média do escoamento ( $\text{m s}^{-1}$ ).

Quanto à unidade de largura de descarga líquida (q), foi avaliada pela medição do volume da enxurrada coletado na extremidade da calha coletora com auxílio de uma proveta, com duração de 10s e dividido pela largura da parcela; os valores foram expressos em  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ .

A medição da viscosidade cinemática da água foi realizada conforme Julien (1995), com o uso de um termômetro em cada teste com a temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  (equação 9):

$$\nu = (1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(-15)^2) * 10^{-6} \quad (9)$$

em que:

$\nu$  - viscosidade cinemática da água ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

T - temperatura da água em  $^{\circ}\text{C}$ .

O número de Reynolds (Re) foi obtido pela equação 10:

$$\text{Re} = \frac{Vh}{\nu} \quad (10)$$

em que:

Re - número de Reynolds, adimensional;

V - velocidade média do escoamento ( $\text{m s}^{-1}$ );

h - altura do escoamento (m);

$\nu$  - viscosidade cinemática da água ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

O número de Froude (Fr) foi determinado pela a equação 11:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (11)$$

em que:

Fr - número de Froude, adimensional;

V - velocidade média do escoamento ( $\text{m s}^{-1}$ );

g - aceleração da gravidade ( $\text{m s}^{-2}$ );

h - altura do escoamento (m).

Foram identificados os regimes dos escoamentos gerados pelas chuvas através das equações de números de Reynolds e Froude.

Conforme Braida e Cassol (1999), foi determinada a rugosidade pelo coeficiente de Manning (n), equação 12:

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q} \quad (12)$$

em que:

n - coeficiente de rugosidade de Manning ( $\text{s m}^{-1/3}$ );

h - altura da lâmina de escoamento (m);

q - descarga líquida por unidade de largura ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

S - declive da parcela ( $\text{m m}^{-1}$ ).

## 5.8 AVALIAÇÃO DA PERDA DE ÁGUA

A perda de água foi obtida conforme a equação 13, na qual se determinou a quantidade do volume de enxurrada.

$$PA = \left( \frac{Les}{Lppt} \right) * 100 \quad (13)$$

em que:

PA - perda de água (%);

Les - lâmina escoada (mm);

Lppt - lâmina total precipitada (mm).

## 5.9 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE DESAGREGAÇÃO E PERDAS DE SOLO

As taxas de desagregação do solo (D) ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foram determinadas pela equação 14:

$$D = \frac{Mss}{Ap * Dc} \quad (14)$$

em que:

D - taxa de desagregação do solo ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

Mss - massa do solo seco desagregado (kg);

Ap - área da parcela ( $\text{m}^2$ );

Dc - duração da coleta em (s).

A perda de solo foi obtida pela equação 15:

$$P_s = \frac{\sum(Q * C_s * t_c)}{A_p} \quad (15)$$

em que:

$P_s$  - perdas de solo ( $\text{kg m}^{-2}$ );

$Q$  - vazão ( $\text{L s}^{-1}$ );

$C_s$  - concentração de sedimento ( $\text{kg L}^{-1}$ );

$t_c$  - intervalo entre as coletas (s);

$A_p$  - área da parcela ( $\text{m}^2$ ).

#### **5. 10 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NA ENXURRADA**

A concentração de sedimentos e as taxas de perda de solo foram determinadas pela pesagem do material coletado na calha coletora. As amostras coletadas da enxurrada foram acondicionadas em potes plásticos e, após pesagem, deixadas em repouso por um período de 24 h. A parte sobrenadante foi succionada e os potes levados para estufa a  $65^\circ \text{C}$ , durante 72 h até apresentar peso constante, sendo em seguida pesado o solo seco, segundo Cogo (1978).

A concentração de sedimentos ( $\text{kg L}^{-1}$ ) foi expressa através da relação entre a massa de solo seco e a massa da água-sedimento, conforme a equação 16:

$$C_s = \frac{M_{ss}}{M_{vol}} \quad (16)$$

em que,

$C_s$  - concentração de sedimentos ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$M_{ss}$  - massa do solo seco (kg);

$M_{vol}$  - massa da enxurrada (kg).

## 5. 11 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO

A resistência à penetração foi avaliada como indicador físico do selamento superficial dos solos, onde as amostragens foram realizadas nas parcelas contendo os três tipos de solos e após as três chuvas sucessivas (0h, 24h e 48h). Foram utilizados anéis volumétricos de diâmetro e altura de aproximadamente 5 cm, introduzidos no solo por meio de um amostrador tipo Uhland, totalizando três amostras indeformadas em cada parcela, totalizando 54 amostras. As amostras foram devidamente acondicionadas, para manter sua estrutura preservada até o laboratório.

As amostras contidas nos anéis foram pré-tratadas, seguindo-se os seguintes procedimentos: foram preparadas retirando-se o excesso de solo, de maneira que o solo amostrado ocupasse somente o volume interno do anel. Em seguida, foi colocada uma tela permeável, no fundo dos anéis de maneira que a mesma permitisse o fluxo de água e ar, além de impedir a perda de solo. Utilizou-se amostras indeformadas para a determinação da resistência a penetração em laboratório, e padronização da umidade a uma tensão de 10 kPa.

Após a realização desses procedimentos, os anéis foram colocados em uma bandeja, para saturação através da elevação gradual da carga hidráulica. As mesmas ficaram por um período de 24 horas sob saturação, e depois foram pesadas e levadas para colocar na câmara de pressão de Richards (RICHARDS, 1965), com tensão de 10 kPa, permanecendo nestas condições até as amostras atingirem o equilíbrio, logo após as amostras foram pesadas para obtenção da umidade.

Assim que as amostras de solo foram retiradas da câmara de pressão, iniciou-se o procedimento de leituras de resistência à penetração. Para a determinação da resistência à penetração foi utilizado um penetrômetro de bancada com carga de capacidade nominal de 20 kg que opera a uma velocidade de 1 cm minuto e com um cone de base de 4 mm de espessura, o aparelho está acoplado a um computador para aquisição dos dados de resistência a penetração do solo. As leituras foram realizadas até a profundidade de 0,02 m para observa a resistência do solo nesta camada (Figura 6).

Figura 6. Aparatos de determinação da resistência a penetração do solo.



A determinação da resistência a penetração foi realizada nas amostras após estas serem submetidas a tensão de 10 kPa, onde os macroporos estão vazios de água. Os valores foram fornecidos em kgf, sendo convertidos para MPa. Após a determinação da resistência à penetração os dados foram armazenados em uma arquivo de extensão tipo “txt” em bloco de notas, em seguida foram exportados para “Excel” e realizadas as transformações para obtenção dos valores de resistência à penetração em MPa.

## 5. 12 ANÁLISE DE SELAMENTO SUPERFICIAL DO SOLO

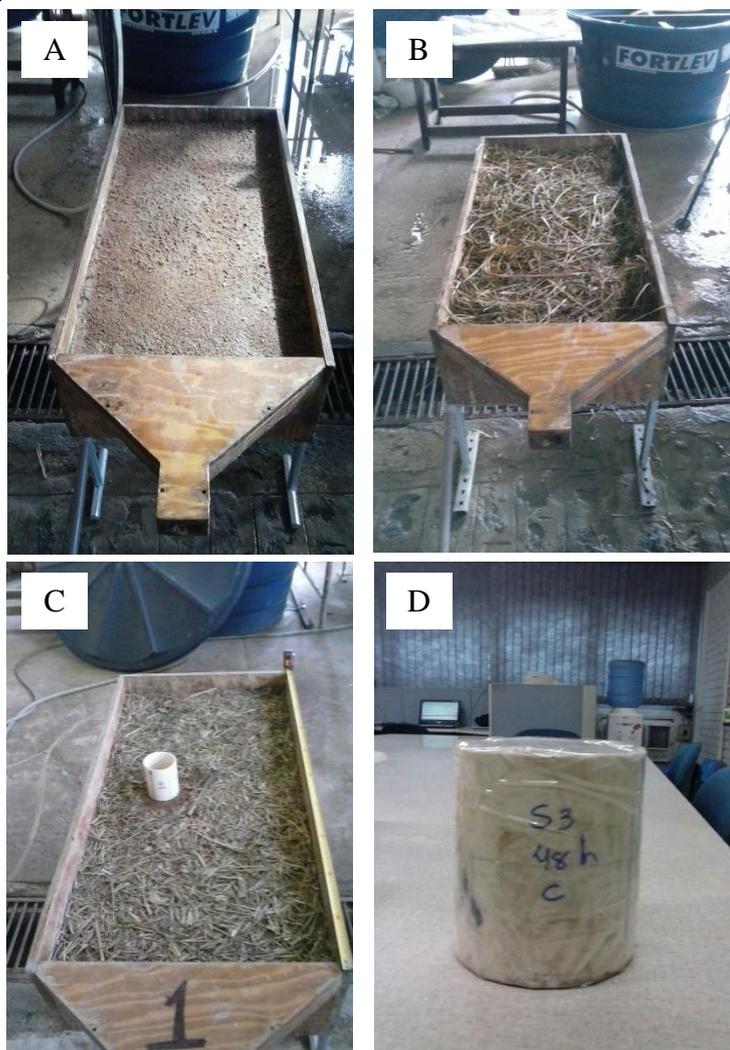
A observação do selamento superficial foi realizada pela descrição de blocos polidos de solo. Utilizou-se fatias de um tubo de PVC com diâmetro de 15 cm e altura de 15 cm, para a análise micromorfológica. As amostras indeformadas foram coletadas nas parcelas com os três solos, com e sem a presença de cobertura morta. Cada coleta foi realizada 24 horas após aplicação da chuva simulada (0h e 48h). No laboratório o material coletado ficou por sete dias secando ao ar, para uniformizar o quanto possível a quantidade de água. A impregnação foi realizada de acordo com método proposto por Murphy et al., (1977), com modificações de MURPHY (1986); CASTRO et al. (2003) e ROSA et al. (2013).

Após os blocos estarem totalmente impregnados e endurecidos, foram cortadas fatias, de aproximadamente 0,5 cm de espessura verticais à superfície, das quais foram confeccionadas lâminas delgadas de secção fina (2,6 x 7,6 cm) para microscópio óptico. Foram confeccionadas lâminas delgadas para amostras coletadas após aplicação das chuvas

simuladas 0h e 48h, com e sem cobertura morta, para os dos três solos, totalizando 12 lâminas. A confecção das lâminas delgadas foi realizada no Departamento de Geologia da UFPE. Cada fatia foi colada em uma lâmina de vidro de (2,6 x 7,6 cm) e posteriormente a face do bloco foi polida com auxílio de uma lixadeira mecânica. Após esse processo, foi realizado manualmente um polimento com pasta adiamantada (6 a 12  $\mu\text{m}$ ) até as lâminas atingirem a espessura desejada (30  $\mu\text{m}$ ), tendo sempre cuidado para que a espessura fosse uniforme em todas as lâminas e fazendo o controle da espessura ao microscópio por meio da extinção padrão do quartzo presente.

Inicialmente foi efetuada a descrição micromorfológica das amostras, a fim de apresentar as feições e a caracterização geral das lâminas para os diferentes solos e tempos após chuva simulada. Com auxílio do microscópio óptico (Figura 7 A, B C e D) procedeu-se a descrição micromorfológica, seguindo os critérios propostos por Bullock et al. (1985) e Rosa et al. (2013), observando-se a dinâmica do processo de formação de selamento superficial nos três solos após a aplicação de lâminas de chuva nos diferentes tempos (0h e 48h), com e sem a presença de cobertura morta.

Figura 7. Parcela com solo sem cobertura morta (A), parcela com solo com cobertura morta (B), coleta da amostra para análise micromorfológica (C), amostra indeformada para impregnação (D).



### 5.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3 x 2, sendo três tipos de solos, três aplicações de chuvas sucessivas (0h, 24h e 48h), sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM) e três repetições, resultando em um total de 54 testes.

Com a finalidade de reduzir o coeficiente de variação dos dados, estes foram transformados para  $\sqrt{x}$ .

Foram avaliadas as características hidráulicas do escoamento superficial, perda de água e solo, estabilidade de agregados, resistência à penetração, através do teste de análise de variância (ANOVA).

A análise estatística foi realizada por comparação das médias dos tratamentos, aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando programa Sisvar – versão 5.6 (Build 86).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

A distribuição do percentual dos agregados estáveis em água nas diferentes classes o diâmetro médio ponderado (DMP), e módulo de finura (MF) na camada 0-20 cm para os três tipos de solos em estudo, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição de percentual dos agregados nas diferentes classes, diâmetro médio ponderado (DMP) e módulo de finura (MF) para os três tipos de solos da bacia representativa do Alto Ipanema, Pesqueira-PE.

Tipo de solo	Classes de agregados					DMP mm	MF
	>2	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	<0,25		
	%						
Arg. abrúptico	14,45 ab	18,78 a	20,08 b	16,18 a	30,50 a	1,02 a	2,71a
Neossolo F.	18,38 a	15,50 b	17,98 b	12,98 b	35,50 a	1,08 a	2,68 a
Arg. típico	10,47 b	13,87 b	28,15 a	16,67 a	30,85 a	0,87 b	2,56 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Argissolo Amarelo Eutrófico abrúptico (Arg. abrúptico) Neossolo Flúvico (Neossolo F.) e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Arg. típico).

Observa-se que o Neossolo Flúvico apresentou maior percentual de agregados maiores que 2 mm, diferindo estatisticamente do Argissolo Amarelo típico, mas não apresentou diferença do Argissolo Amarelo abrúptico. A baixa estabilidade na classe de 2 mm relaciona-se à textura dos solos e a quantidade de matéria orgânica presente nos mesmos uma vez que de acordo com Corrêa et al. (2009), o processo de agregação envolve um conjunto de elementos como argila e matéria orgânica que são responsáveis pelo aumento da agregação do solo.

O Argissolo abrúptico apresentou maior percentual de agregados na classe de agregado entre 2,0-1,0mm em comparação aos outros solos. O Argissolo típico apresentou maior percentual de agregados na classe de 1,0-0,5mm em relação aos demais solos. Segundo Fox et al. (2004), os solos de sequeiro têm tipicamente quantidade de matéria orgânica muito baixos e podem ter altas concentrações de sódio, o que pode diminuir a estabilidade de agregados.

O Neossolo Flúvico apresentou o menor percentual de agregado na classe de diâmetro de 05 a 0,25mm. Conforme Brady & Weil (2013), os processos físico-químicos de formação dos agregados estão associados, principalmente, com as argilas e, portanto, tendem a ser mais

importantes em solos de textura fina porque em solos de textura arenosa a agregação é quase inteiramente dependente dos processos biológicos.

Na classe de agregados <0,25mm observou-se maior homogeneidade entre os tratamentos, não apresentando diferença estatística entre os solos em estudo. Nesta classe, foi encontrado o maior percentual de agregados em relação às outras, classe, pois segundo Castro Filho et al. (1998), quanto maior o percentual de agregados < 0,25 mm, menor será o índice de estabilidade dos agregados, o que torna o solo mais susceptível a erosão.

Alguns autores (ASSIS & BAHIA, 1998; VICENTE et al., 2012) afirmam que, quanto mais estáveis os agregados em água, melhor é a porosidade dos solos, que contribui para um aumento da infiltração e da resistência à erosão. Quando os agregados não são estáveis podem dispersar-se sob o impacto das gotas de chuva sobre o solo, levando à perturbação e mudança na arquitetura do solo.

Santos et al. (2009) alertam sobre problemas relacionados a desagregação de solos sem a presença de cobertura morta sobre a superfície, tendo em vista que os baixos conteúdos de matéria orgânica favorecem a diminuição de sua estabilidade.

O DMP variou de 1,08mm a 0,87mm (Tabela 2), sendo o menor valor observado para o Argissolo Amarelo típico, que apresentou o menor teor de carbono orgânico (Tabela 1). Resultados encontrados por Mendes et al. (2006) corroboram que o DMP é influenciado pelos teores de matéria orgânica presentes no solo.

Segundo Vasconcelos et al. (2010), a falta de matéria orgânica no solo diminui a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, aumenta a perturbação dos solos e degrada a sua qualidade física. Vasconcelos et al. (2013) observaram que o diâmetro médio ponderado apresentou-se maior em solos mais argilosos do que em solos com menores teores de argila e carbono orgânico.

Para o módulo de finura (MF) não houve diferença estatística entre os solos estudados (Tabela 2). Segundo Vicente et al. (2012), quanto maior a dispersão da argila em água menor será o valor do MF, provocando uma menor estabilidade de agregados.

## 6.2 CARATERÍSTICA DA HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Houve interação entre os tratamentos CCM e SCM para as variáveis em estudo: Perda de solo, taxa de desagregação e perda de água, número de Reynolds, número de Froude, coeficiente de rugosidade de Manning, velocidade de escoamento, altura de escoamento, viscosidade cinemática e descarga líquida como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr) e o coeficiente de rugosidade de Manning (n), para os diferentes tipos de solos sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM).

Tempo de aplicação da chuva	Re		Fr		n	
	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM
Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto						
0h	42,72 abA	21,85 aB	0,042 bA	0,026 aB	0,902 aB	1,509 abA
24h	41,48 abA	20,30 aB	0,052 abA	0,034 aB	0,740 aB	1,394 abA
48h	39,50 abA	18,66 aB	0,066 abA	0,037 aB	0,528 aB	1,022 bA
Neossolo Flúvico						
0h	40,10 abA	19,68 aB	0,077 abA	0,033 aB	0,489 aB	1,771 abA
24h	31,63 abcA	19,21 aB	0,075 abA	0,030 aB	0,457 aB	1,259 abA
48h	28,73 bcA	18,93 aB	0,072 abA	0,022 aB	0,437 aB	1,153 abA
Argissolo Amarelo Eutrófico típico						
0h	20,73 cA	19,87 aB	0,076 abA	0,020 aB	0,561 aB	2,064 aA
24h	33,14 abcA	19,44 aB	0,078 abA	0,032 aB	0,444 aB	1,842 abA
48h	50,96 aA	27,73 aB	0,084 aA	0,019 aB	0,365 aB	1,185 abA

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os números de Reynolds e Froude, que caracterizam o regime de escoamento, foram menores que 500 e menores que um, respectivamente, o que caracteriza regime de escoamento como laminar lento (BEZERRA, 2004), típico de erosão em entressulcos. Comparando a presença e ausência de cobertura verifica-se diminuição significativa destes valores com a aplicação de cobertura, que contribui para a redução da turbulência do escoamento superficial.

Diversos pesquisadores, estudando diferentes tipos de uso de solo, observaram o mesmo tipo de regime de escoamento sob condições de chuva simulada: (Freitas et al., 2008; Santos et al., 2009; Borges, 2013 e Lima et al., 2015).

Ainda na Tabela 3, observa-se que o coeficiente de rugosidade foi maior na presença de cobertura morta. Os maiores valores de rugosidade proporcionaram aumento da resistência ao

escoamento superficial, Castro et al. (2006), Santos (2009) e Lima et al. (2015) observaram baixos valores de rugosidade para a condição de solo descoberto.

Na Tabela 4 observa-se que a presença ou ausência de cobertura não influenciou os valores de descarga líquida. Os valores da ordem de  $10^{-5}$  são semelhantes aos encontrados por Franco et al. (2012) e Cantalice et al. (2009), que realizaram estudos com simulador de chuvas em diferentes densidades de cobertura do solo e também não encontraram influência da cobertura morta sobre a descarga líquida.

Tabela 4. Descarga líquida, velocidade de escoamento, altura de escoamento, e viscosidade cinemática para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM), para estudo de práticas de conservação.

Tempo de aplicação da chuva	Descarga líquida		Velocidade de escoamento		Altura de escoamento		Viscosidade cinemática	
	$m^2 s^{-1}$		$m s^{-1}$		m		$m^2 s^{-1}$	
	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM
Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto								
0h	$2,13 \times 10^{-5}$ aA	$1,73 \times 10^{-5}$ abB	0,0068 aA	0,0052 aB	$2,61 \times 10^{-3}$ aB	$4,14 \times 10^{-3}$ abA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
24h	$2,08 \times 10^{-5}$ aA	$1,83 \times 10^{-5}$ aB	0,0079 aA	0,0066 aB	$2,33 \times 10^{-3}$ aB	$3,90 \times 10^{-3}$ abA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
48h	$2,25 \times 10^{-5}$ aA	$1,92 \times 10^{-5}$ aB	0,0094 aA	0,0068 aB	$2,07 \times 10^{-3}$ aB	$3,38 \times 10^{-3}$ bA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
Neossolo Flúvico								
0h	$2,04 \times 10^{-5}$ aA	$1,75 \times 10^{-5}$ abB	0,0102 aA	0,0053 aB	$2,03 \times 10^{-3}$ aB	$3,30 \times 10^{-3}$ bA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
24h	$2,69 \times 10^{-5}$ aA	$1,88 \times 10^{-5}$ aB	0,0107 aA	0,0060 aB	$1,93 \times 10^{-3}$ aB	$3,30 \times 10^{-3}$ bA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
48h	$2,70 \times 10^{-5}$ aA	$1,89 \times 10^{-5}$ aB	0,0106 aA	0,0045 aB	$1,96 \times 10^{-3}$ aB	$4,23 \times 10^{-3}$ abA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
Argissolo Amarelo Eutrófico típico								
0h	$2,11 \times 10^{-5}$ aA	$1,16 \times 10^{-5}$ bB	0,0109 aA	0,0035 aB	$2,06 \times 10^{-3}$ aB	$3,25 \times 10^{-3}$ bA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
24h	$2,12 \times 10^{-5}$ aA	$1,59 \times 10^{-5}$ aB	0,0116 aA	0,0059 aB	$1,96 \times 10^{-3}$ aB	$3,45 \times 10^{-3}$ abA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB
48h	$2,15 \times 10^{-5}$ aA	$1,62 \times 10^{-5}$ aB	0,0120 aA	0,0046 aB	$2,38 \times 10^{-3}$ aB	$5,06 \times 10^{-3}$ aA	$10,76 \times 10^{-6}$ aA	$10,45 \times 10^{-6}$ aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os maiores valores de velocidade de escoamento superficial ocorreram na condição SCM e verificou-se que foram significativamente influenciados pela ausência da cobertura morta sobre a superfície do solo (Tabela 4).

O uso de densidade de  $3 \text{ Mg ha}^{-1}$  de cobertura morta, que resultou em valores elevados de rugosidade para este tratamento, refletiu também na diferença significativa para os valores de altura da lâmina de escoamento, que também foram mais elevados para esta condição, ressaltando a eficiência da cobertura em amortecer o impacto da gota da chuva, interceptando a precipitação e diminuindo a velocidade do escoamento superficial, evitando a desagregação das partículas, e com isto o transporte pela enxurrada e perda de solo.

A redução da velocidade do escoamento e a elevação da altura de lâmina que ocorreram na presença de cobertura morta estão em concordância com Santos (2009), Lima (2013) e

Borges (2013), onde se observa que os resíduos vegetais sobre a superfície dos solos proporcionou eficiência na redução da enxurrada.

Montenegro et al. (2013) observaram que a utilização de cobertura morta, reduz danos no solo que são causados pelas gotas de chuva e com isto proporciona aumento da umidade, diminuição da velocidade de escoamento e melhoria da proteção do solo.

O uso de cobertura nas parcelas proporcionou redução de taxa de desagregação e perda de solo em comparação com as parcelas descobertas, evidenciando que a utilização de vegetais sobre a superfície do solo evita a desagregação das partículas causada pela força exercida das gotas de chuva sobre a superfície, porém entre os tipos de solos e tempos (0h, 24h e 48h) não ocorreram diferenças significativas, seja sem ou com cobertura morta, tanto para perda de solo quanto para a taxa de desagregação (Tabela 5).

Tabela 5. Perda de solo, taxa de desagregação e perda de água, para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM).

Tempo de aplicação da chuva	Perda de solo		Taxa de desagregação		Perda de água	
	kg m <sup>-2</sup>		kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>		%	
	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM
Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico						
0h	0,0375 aA	0,0239 aB	4,44 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,41 x 10 <sup>-6</sup> aB	77,6 aA	71,9 abB
24h	0,0389 aA	0,0247 aB	4,55 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,55 x 10 <sup>-6</sup> aB	83,0 aA	74,0 aB
48h	0,0497 aA	0,0252 aB	5,0 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,59 x 10 <sup>-6</sup> aB	84,0 aA	75,0 aB
Neossolo Flúvico						
0h	0,0379 aA	0,0275 aB	3,70 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,66 x 10 <sup>-6</sup> aB	76,8 aA	62,9 bcB
24h	0,0441 aA	0,0287 aB	4,07x 10 <sup>-6</sup> aA	2,67 x 10 <sup>-6</sup> aB	78,2 aA	69,1 abB
48h	0,0455 aA	0,0296 aB	4,26 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,92 x 10 <sup>-6</sup> aB	79,9 aA	69,4 abB
Argissolo Amarelo Eutrófico típico						
0h	0,0545 aA	0,0098 aB	4,57 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,70 x 10 <sup>-6</sup> aB	79,7 aA	41,1 cB
24h	0,0568 aA	0,0291 aB	4,81 x 10 <sup>-6</sup> aA	2,78 x 10 <sup>-6</sup> aB	81,4 aA	75,1 aB
48h	0,0577 aA	0,0340 aB	5,04 x 10 <sup>-6</sup> aA	3,33 x 10 <sup>-6</sup> aB	86,0 aA	77,9 aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A redução da perda de solo pelo uso de cobertura morta proporcionou controle na erosão hídrica e com isto minimizou a capacidade do impacto da energia cinética das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a exposição do solo, evitando o desprendimento das partículas, apresentando assim eficiência. Segundo Jordán et al. (2010), a aplicação de cobertura morta

em regiões semiáridas melhora as características físicas e químicas do solo, e reduz o escoamento superficial, controlando o processo desagregação e perda de água e solo.

Lima et al. (2015), em estudo de práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com as perdas de solo, observaram que os resíduos vegetais sobre a superfície reduziram a desagregação das partículas do solo e auxiliou como dissipador da energia cinética da chuva proporcionando uma diminuição na perda de solo. Schaefer et al. (2002) notaram que os solos mais expostos, apresentaram maiores perdas de solo com cobertura variando de 0 a 20 %, observando a formação de selamento superficial, enquanto os solos com 100% de cobertura não apresentaram formação de selo na superfície e menor perda de solo.

Observa-se que não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, tipo de solos e tempo de observação para a variável perda de água, para a condição sem cobertura. Em relação à utilização de cobertura sobre a superfície do solo pode-se observar que uso de restos vegetais reduziu a perda de água entre os tratamentos. Os menores valores para esta variável foram encontrados para o S3-0h, que não apresentou diferença do S2-0h (Tabela 5). Estes resultados se assemelham aos encontrados por Santos (2009), Albuquerque et al. (2012) e Silva et al. (2011), onde a presença de cobertura sobre a superfície do solo favoreceu o aumento da taxa de infiltração dos solos e com isto uma menor perda de água demonstrou-se eficiente para controlar a erosão, e proporcionou uma maior eficiência de proteção do solo.

### **6.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E TAXAS DE INFILTRAÇÃO**

Na Tabela 6 encontram-se os valores de escoamento superficial, infiltração e tempo de início do escoamento superficial. Observa-se que a utilização de cobertura morta na superfície do solo, apresentou um decréscimo no escoamento superficial, mostrando que a presença do resíduo vegetal na superfície do solo é de suma importância na redução das perdas de água, diferindo do tratamento com solo descoberto, no qual ocorreu uma maior enxurrada e menor infiltração, levando um tempo menor para início do escoamento superficial.

Tabela 6. Escoamento superficial, infiltração e tempo inicial de escoamento para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM).

Tempo de aplicação da chuva	Escoamento superficial		Infiltração		Tempo inicial de escoamento	
	mm h <sup>-1</sup>		mm h <sup>-1</sup>		minutos	
	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM
Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico						
0h	76,8 aA	75,6 aB	19,7 aB	21,0 bA	5,0 aB	6,6 bA
24h	75,0 aA	69,2 aB	21,8 aB	27,6 bA	4,0 aB	4,7 bA
48h	81,2 aA	80,0 aB	15,5 aB	16,7 bA	4,0 aB	4,7 bA
Neossolo Flúvico						
0h	73,6 aA	63,2 abB	23,1 aB	33,5 abA	5,3 aB	11,0 bA
24h	74,5 aA	68,3 aB	22,1 aB	28,4 bA	4,3 aB	11,0 bA
48h	74,6 aA	68,3 aB	22,2 aB	28,4 bA	3,6 aB	9,0 bA
Argissolo Amarelo Eutrófico típico						
0h	82,4 aA	41,8 bB	14,3 aB	54,9 aA	9,0 aB	21,0 aA
24h	77,3 aA	72,6 aB	19,4 aB	24,1 bA	4,3 aB	6,33 bA
48h	85,5 aA	76,8 aB	10,5 aB	19,7 bA	3,6 aB	5,67 bA

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A condição de umidade antecedente do solo quando da aplicação da chuva simulada é importante pois, quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, o escoamento será facilitado como pode ser observado para o Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico com cobertura morta, que apresenta menor valor de escoamento superficial após aplicação da primeira chuva comparado com as chuvas subsequentes de 24h e 48h. Para a mesma condição de solo sem cobertura, não ocorreram diferenças significativas para as taxas de infiltração, mesmo para os tipos diferentes de solo, o que pode ser explicado pela textura do solo, já que todos os tipos apresentam os maiores percentuais para a classe de areia total. Quando se adiciona a cobertura, o solo Argissolo Amarelo Eutrófico típico e Neossolo Flúvico, de textura franco arenosa e franco argilo-arenosa, respectivamente, proporcionam maiores valores de taxa de infiltração, para a primeira chuva aplicada. Autores como Spohr et al. (2007), Santos (2009) e Lima et al. (2015), concluíram que as perdas de água por escoamento superficial diminuem à medida que se aumenta o tempo para o início desse escoamento; além disso, os solos desprotegidos possuem uma reduzida infiltração de água.

Observa-se na Tabela 7 que o percentual de umidade inicial não diferiu entre os solos porque foram aplicados os mesmos tratamentos de preparação, mantendo-se a mesma condição inicial de umidade. No entanto, após 24, 48 e 72 horas foram observadas diferenças

significativas entre os tratamento descobertos em relação aos com cobertura morta que apresentaram maiores valores de umidade.

Tabela 7. Percentual de umidade para os diferentes tipos de solos sem (SCM) e com cobertura morta (CCM), antes da aplicação de chuva e após a aplicação de três chuvas sucessivas, separadas por 24h.

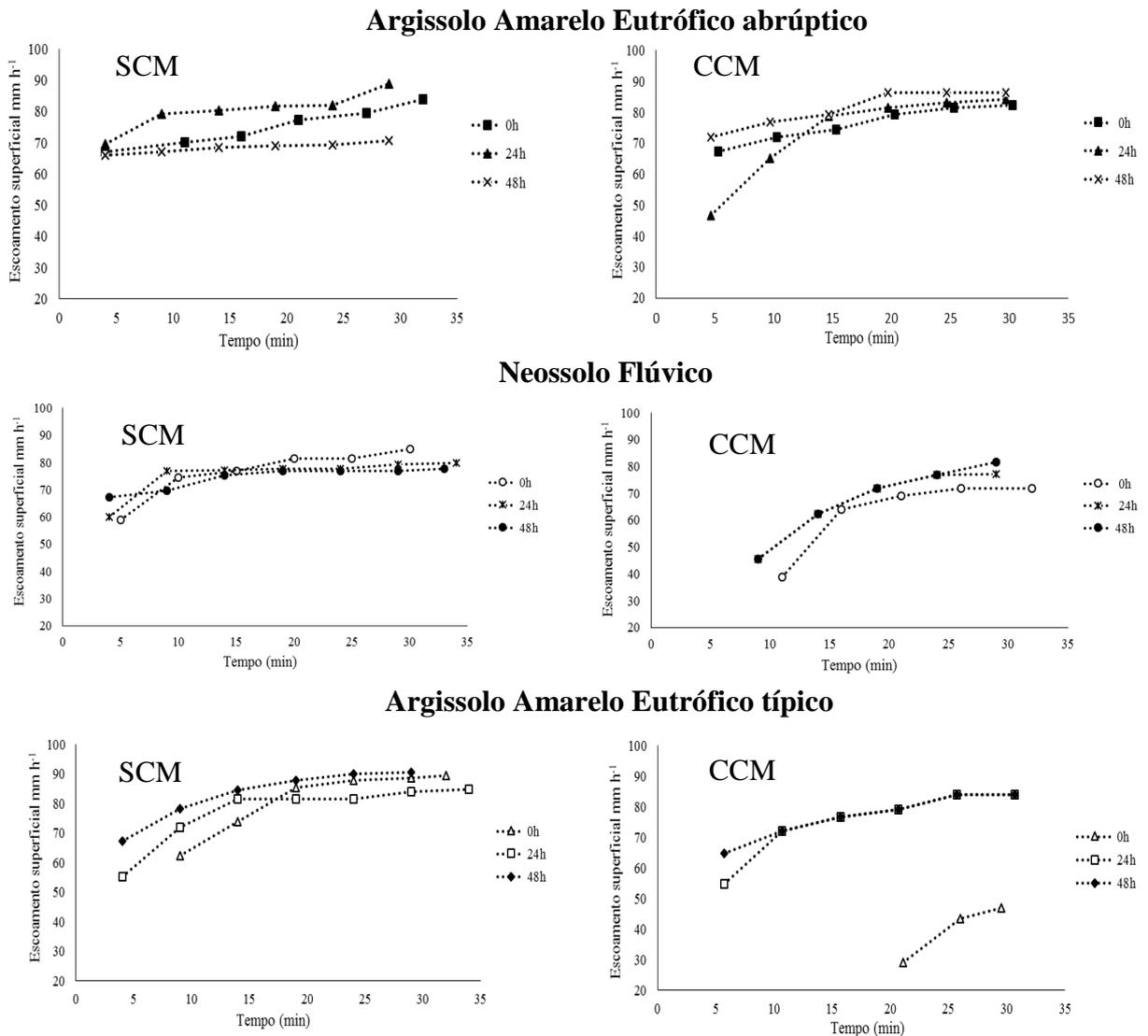
Tipo de solo	Início		Após 24 h		Após 48 h		Após 72 h	
	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM	SCM	CCM
<b>Umidade do solo %</b>								
Arg. abruptico	1,23aA	1,13aA	16,90aB	20,17aA	20,37aB	31,17aA	28,57aB	38,57bA
Neossolo Flúvico	1,43aA	1,43aA	19,43aB	25,37aA	22,17aB	32,20aA	30,20aB	36,83bA
Arg. típico	1,40aA	0,97aA	14,30aB	24,06aA	19,77aB	28,07aA	28,50aB	39,23aA

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Conforme Borges (2013), a presença do resíduo na superfície do solo ocasiona aumento da infiltração da água e um menor escoamento superficial, com uma maior permanência da água no perfil do solo. Pan et al. (2008) verificaram que o conteúdo de água no solo, dentre outros fatores, depende do percentual de umidade antecedente no solo e se estiver previamente mais úmido, ele atingirá maiores médias de umidade, embora para uma mesma lâmina de chuva.

O comportamento do escoamento superficial é ilustrado pela Figura 9, onde se verifica o tempo de duração dos testes de chuva simulada nos três tipos de solos, e aplicação da lâmina de chuva sucessiva nos três tempos de observações (0h, 24h e 48h), sem (SCM) e com cobertura morta (CCM). Observou-se que o escoamento superficial apresentou um comportamento inverso ao da infiltração, onde os solos com cobertura tiveram menores valores de escoamento superficial, principalmente o Argissolo Amarelo Eutrófico típico no tempo 0h, verificando-se que houve influência da cobertura morta no controle da erosão, no entanto, após a aplicação das chuvas sucessivas, o escoamento superficial atingiu taxas mais elevadas. Segundo Oliveira et al. (2012), os valores crescentes do escoamento representam a fase em que o solo ainda não se encontra completamente saturado ou, então, quando ainda não houve a formação inicial de selamento superficial no solo.

Figura 8. Relação entre o escoamento superficial e tempos (0h, 24h e 48h) para três tipos de solos, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM).



Conforme Santos et al. (2011), técnicas de conservações é importante para a região semiárida, principalmente devido aos grandes problemas de escassez de recursos hídricos, observando-se assim a importância do uso de cobertura morta, que tem um baixo custo e proporciona redução do escoamento superficial, aumento na infiltração e umidade do solo.

Na Figura 10 encontram-se o comportamento das taxas de infiltração. A infiltração da água no solo é refletida pelas condições físicas como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas. Constata-se que houve uma maior infiltração nos tratamentos com cobertura morta (CCM), enquanto que no tratamento com solo descoberto (SCM) houve um

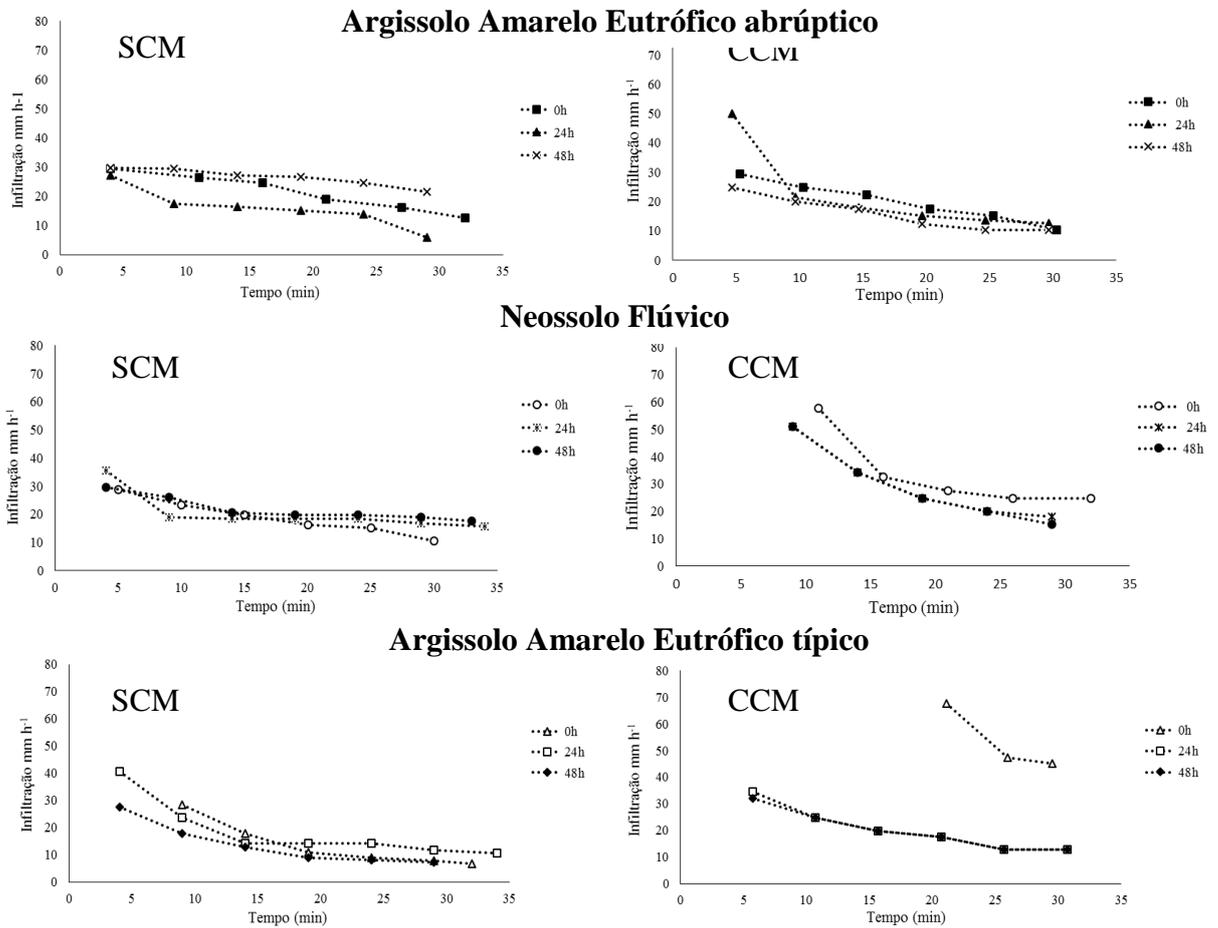
maior volume de enxurrada em relação aos demais, conseqüentemente, uma maior perda de água e solo.

Verificou-se que nos solos Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico, a utilização de cobertura na parcela proporcionou maior eficiência, aumentando a taxa de infiltração, e com isto reduziu a perda de água. O Argissolo típico apresentou maior taxa de infiltração inicial, após 20 minutos do início da chuva, dando início ao escoamento superficial à medida que reduziu a taxa de infiltração.

Segundo Oliveira et al. (2010), a capacidade de infiltração tende a ser menor em solos mais úmidos, e a taxa de desagregação do solo, provocado pelo impacto das gotas da chuva, também é favorecida, causando selamento e escoamento superficial.

Martins Filho et al. (2009) verificaram que as taxas de infiltração de água no solo são maiores nas áreas com 50% e 100% de cobertura, nessa ordem, a erosão é reduzida em até 68% e 89% em relação ao solo descoberto, com declividade de 0,052 m m<sup>-1</sup>.

Figura 9. Relação entre as taxas infiltração e tempos de aplicação das chuvas simuladas (0h, 24h e 48h) para três tipos de solos, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM).



#### 6.4 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO

Foram verificadas diferenças significativas para os resultados de resistência do solo à penetração entre parcelas descobertas e com cobertura morta (Tabela 8).

Tabela 8. Resistência à penetração (RP) e percentual de umidade (U) para os diferentes solos, na camada de 0-0,02m, sem cobertura morta (SCM) e com cobertura morta (CCM), após a aplicação das três chuvas sucessivas, separadas por 24h.

Tipo de solo	RP		U	
	MPa		%	
	SCM	CCM	SCM	CCM
Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto				
0h	0,045 bA	0,015 aB	17,3abcB	20,1 aA
24h	0,093 abA	0,027 aB	15,1 bcB	18,0 aA
48h	0,150 aA	0,055 aB	14,2 cB	17,9 aA
Neossolo Flúvico				
0h	0,052 bA	0,025 aB	19,6 aB	20,6 aA
24h	0,064 abA	0,027 aB	17,8 abcB	19,4 aA
48h	0,148 a A	0,042 aB	15,1 bcB	18,5 aA
Argissolo Amarelo Eutrófico típico				
0h	0,040 bA	0,016 aB	18,7 abB	19,8 aA
24h	0,052 bA	0,042 aB	17,1 abcB	18,9 aA
48h	0,098 abA	0,064 aB	15,5 bcB	18,0 aA

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Nas parcelas descobertas, para os diferentes solos avaliados, os maiores valores de resistência à penetração foram verificados após 48h da aplicação da lâmina de chuva, demonstrando que ocorreu adensamento após as chuvas sucessivas de alta intensidade. Segundo IAIA et al. (2006) a resistência do solo à penetração tem sido utilizada como parâmetro importante na determinação das condições físicas do solo em relação a infiltração.

Nas parcelas cobertas não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre tratamentos, evidenciando a eficiência da cobertura morta na redução da compactação da camada superficial do solo, mesmo em condições de chuvas de alta intensidade. Segundo Pedrotti et al. (2001), os valores mais elevados de água na camada superficial do solo, principalmente na presença de cobertura morta, pode contribuir para menores valores de resistência do solo à penetração das raízes.

Conforme Hamza & Anderson (2005) valores de resistência à penetração do solo entre 2 MPa e 3 MPa, são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas. Para este trabalho, os valores ficaram bem abaixo desses limites, sendo considerados de muito baixa resistência à penetração (SOIL SURVEY STAFF, 1993), provavelmente devido às medições terem sido realizadas a tensão próxima da umidade na capacidade de campo (10 kPa), visto que, segundo Perini et al. (1998), quando se determina a resistência com o solo muito úmido, regiões compactadas não são detectadas.

Segundo Rosa et al. (2013), a formação de selo na superfície do solo pode ser avaliada direta ou indiretamente por meio de mudança da morfologia ou por aumento na resistência da superfície e diminuição na capacidade de infiltração.

Verificou-se que o percentual de umidade na tensão de 10 kPa para as amostras de resistência à penetração, diferiu estatisticamente entre as parcelas coberta e descobertas onde a ausência de cobertura sobre a superfície do solo ocasionou maior resistência e menor percentual de umidade. A resistência à penetração pode aumentar a susceptibilidade do solo à erosão, reduzir a porosidade, diminuir a infiltração de água e conseqüentemente aumentar o escoamento superficial do solo (SÁ & SANTOS JUNIOR, 2005; GONDIM et al, 2015).

Observaram-se maiores valores de umidade na tensão de 10 kPa para todos os solos nas parcelas descobertas após aplicação das primeiras chuvas (0h).

## **6.5 SELAMENTO SUPERFICIAL**

Na Tabela 9 apresenta-se a descrição morfológica das micrografias para os três solos estudados nas parcelas descobertas. De uma forma geral a distribuição foi heterogênea para Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto e Neossolo Flúvico (0h e 48h) com materiais em duas zonas A e B, e homogênea para Argissolo Amarelo Eutrófico típico (0h e 48h), isto nos solos sem cobertura morta. Os mesmos são compostos predominantemente de quartzo, seguidos de feldspatos, fragmentos de rocha e micas (muscovita). Foram identificados raros fragmentos de raízes bem preservados. A fração grossa mineral se apresentou mal selecionada com tamanhos variados e com arestas bem preservadas (subangulares a subarredondadas) sugerindo baixa contribuição de material sedimentar na formação do solo. Conforme Rosa et al. (2013), a heterogeneidade na superfície do solo, ocorre devido as áreas estarem expostas à ação da chuva.

Tabela 9. Descrição micromorfológica dos três tipos de solos em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h sem cobertura.

Atributo	Sem cobertura					
	Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto		Neossolo Flúvico		Argissolo Amarelo Eutrófico típico	
	0 h	48 h	0 h	48 h	0 h	48 h
Geral	Distribuição heterogênea de materiais em duas zonas: A (20%), B (30%) e C (50%).	Distribuição heterogênea de materiais em duas zonas: A (35%) e B (65%).	Distribuição heterogênea de materiais em duas zonas: A (50%), B (50%).	Distribuição heterogênea de materiais em duas zonas: A (40%, mais poros) e B(60%).	Distribuição homogênea	Distribuição homogênea.
Material Grosso	A, B e C - pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, mica (muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Fração mineral: tamanho entre 0,2 e 2,5 mm, subangulares a rugosas.	A e B - pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, mica (muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho entre 0,2 e 2,5 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	A e B - pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho entre 0,2 e 1,5 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas. Estreita camada ( $e = 1,5$ mm) de material grosso pesente na superfície do solo.	A e B - pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho entre 0,2 e 1,5 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita e muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho menor que 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita e muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho menor que 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e rugosas.
Material fino	Amarelo, machado com raras e pequenas manchas plínticas de cor vermelho-escuro; isótico	Amarelo, machado com raras e pequenas manchas plínticas de cor vermelho-escuro; isótico.	Amarelo; límpido; isótico.	Amarelo; límpido; isótico.	Amarelo claro; límpida; isótico.	Bruno-amarelo claro; manchado por pequenas pontuações pretas e vermelho escura (carvão e óxido de Fe, respectivamente) e mosqueados plínticos; isótico.
Fábricas-b	Salpicada grânida.	Salpicada grânida.	Salpicada grânida e gronoestriada.	Salpicada grânida e gronoestriada.	Salpicada grânida.	Salpicada grânida.
Distribuição relativa	Pórfirica-enáulica	Pórfirica	A e B - porfírica	A - enáulica; B - pórfirica	Enáulica	Pórfirica
Microestrutura	A - complexa composta por frangimentos de agregados e grãos simples, porosidade de impacotamento complexos, canais e as cavidade varia de 0,8 a 2 mm; B e C - complexo por cavitária com grande diversidade	A - complexa formada por fragmentos de blocos e cavitária; B - cavitária com grande diversidade de tamanho (0,14 a 2 mm), com cavidades maiores ( $D = 2$ a 4 mm) alinhadas e paralelas a superfícies da amostra;	A - complexa formada por maciça e fragmentos de agregados, com raras e pequenas cavidades e fissuras paralelas a superfície, maiores cavidade (até 3,3 cm) localizadas na zona B. Zona maceça com predomínio de grão menores ( $D=0,7$ mm)	A - complexa composta por microagregados intergrãos e fragmentos de agregados, com poros de empacotamento complexo e cavidades ( $D= 2$ mm); B - maciça, com poucos poros tipo cavidades.	A - complexa, com presença agregados granulares e baixa frequência de fragmentos de estrutura em blocos, com expressiva presença de porosidade bem conectada do tipo empacotamento complexo.	A - cavitária, com presença de grandes cavidades (até 2,5 cm) e raras fissuras paralela ou pouco inclinada em relação ao topo da lâmina, raras presença de vesículas na parte superior da lâmina.
Feições pedológicas	Ausente	A e B - revestimento típico de grão de argila pura amarela ( $e = 50$ mm), não laminados, ocasionais, com orientação fraca e extinção difusa (fluxo turbulento); preenchimento denso contínuo de argila pura amarela, em porosidade fissural muito pequena, não laminados, raros, orientação fraca e extinção difusa.	Ausente. No topo da zona A presença de crosta (5% area da lamina) em fase inicial de formação com pequena camada de grãos de quartzo mal selecionado na superfície da amostra. Pequena zona (abaixo) com aparente maior grau de acomodação. Em seguida, surgem cavidades grandes, alinhadas e paralelas a superfície da lamina. A - revestimento típico em grãos de argila pura amarela ( $e = 30$ mm), não laminados, raros, com orientação forte e contínua e extinção nítida; e revestimento típico de argila pura amarela, em pequenas cavidades, não laminados, raros, com orientação forte e contínua e extinção nítida; Preenchimento denso completo de argila pura amarela, em pequenas fissuras, não laminados, raros, com orientação forte e contínua e extinção nítida.	A - ausente. B - revestimento típico de grão de argila pura amarela ( $e = 30$ micro), não laminados, raros, com orientação forte e contínua e extinção nítida; revestimento e preenchimento denso completo típico de argila pura amarela, em pequenas cavidades e fissuras, não laminados, com orientação forte e contínua e extinção nítida.	Ausente	Ausente

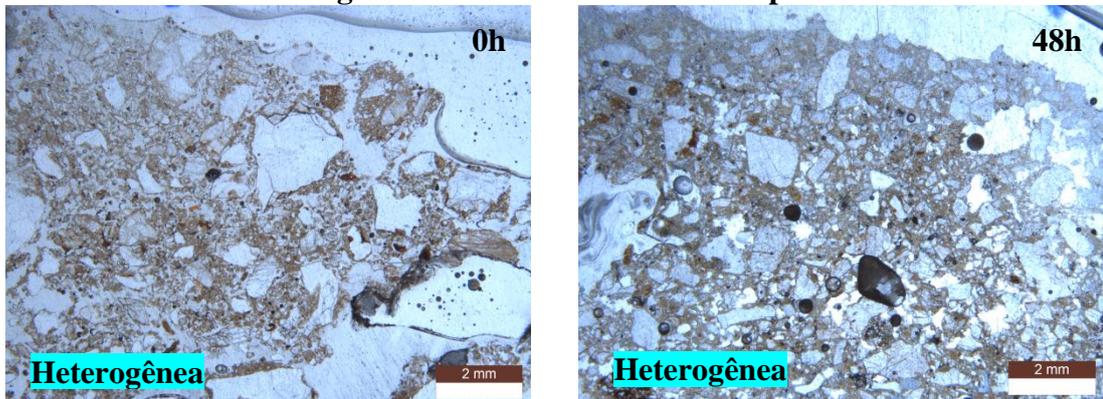
O material fino apresenta domínio caulinítico inferido pela sua alta isotropia óptica. Foram identificadas pequenas zonas anisotrópicas na forma de fábrica-b do tipo salpicada granida, dispersa em toda matriz fina do solo. Sua cor variou pouco entre os solos, sempre em tons amarelados (amarelo pálido a bruno amarelado).

Verificou-se que houve uma migração de material fino nos solos Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto e Neossolo Flúvico, onde se observa uma translocação de argila no perfil das amostras dos solos, isto em decorrência da baixa estabilidade dos agregados e por falta de cobertura na superfície.

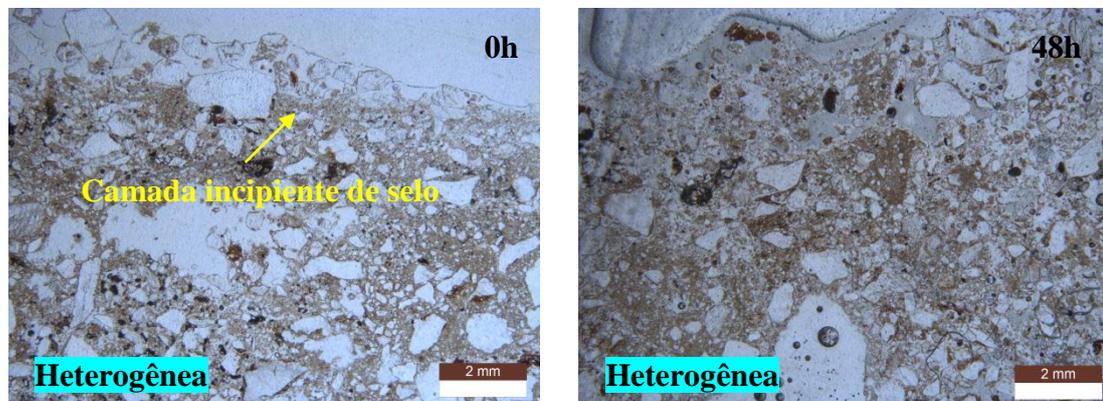
Em relação à distribuição relativa das amostras, é possível observar nos solos Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto e Argissolo Amarelo Eutrófico típico, no tempo de 48h, sem cobertura morta, apresentaram distribuição porfirica, já para o solo Neossolo Flúvico, esta distribuição foi verificada na primeira aplicação de chuva, 0h, onde nota-se uma pequena camada incipiente de selo superficial no topo da zona A (Neossolo Flúvico em 0h), com grãos de quartzo mal selecionados na superfície da amostra e pequena zona, abaixo, aparentemente com maior grau de acomodação e, em seguida, surgem cavidades grandes, alinhadas e paralelas à superfície da lâmina (Figura 10).

Figura 10. Micrografia da camada superficial em razão de duas lâminas de chuva aplicadas após 0h e 48h sem cobertura morta (SCM).

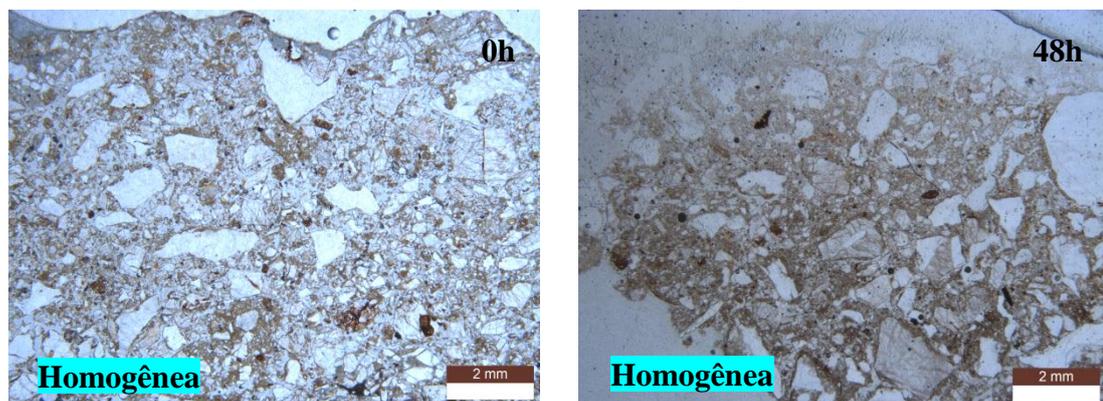
**Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico**



**Neossolo Flúvico**



**Argissolo Amarelo Eutrófico típico**



As principais feições micromorfológicas como classificação, empacotamento e orientação de partículas grossas e finas são relacionadas e dependentes das condições hidrodinâmicas de sedimentação das partículas (BRESSON & BOIFFIN, 1990; VALENTIN & BRESSON, 1992 e ROSA et al., 2013).

Amostras dos solos sem cobertura apresentaram as menores velocidades de infiltração em comparação das parcelas cobertas. A justificativa para esses resultados é uma redução na rugosidade e na porosidade pela falta de proteção, causada pela força das gotas de chuva sobre os solos, dificultando a infiltração no perfil e decorrente disto um aumento da perda de água e solo. Alguns autores com Cassol et al. (2003), Silva et al. (2010) e Rosa et al. (2013), verificaram que a ação direta das gotas de chuva causa salpicamento na superfície do solo e com isto uma reorientação das partículas do solo e um aumento na enxurrada e diminuição da taxa de infiltração.

Verifica-se, de uma forma geral, que as amostras com cobertura morta sobre a superfície dos solos Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (0h e 48h), apresentaram distribuição homogênea, onde as menores porosidades foram observadas nas lâminas de 48h. Já o Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto 48h apresentou uma distribuição heterogênea com menor presença de grãos grossos ( $D = 0,6 \text{ mm}$ ); e no topo dessa zona encontra-se uma camada muito fina de areia e silte na superfície do solo (Tabela 10).

Tabela 10. Descrição micromorfológica dos três tipos de solos em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h com cobertura.

Atributo	Com cobertura					
	Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico		Neossolo Flúvico		Argissolo Amarelo Eutrófico típico	
	0 h	48 h	0 h	48 h	0 h	48 h
Geral	Distribuição heterogênea dos componentes.	Distribuição heterogênea de materiais em duas zonas: A (2%), B (49%) e C (49%).	Distribuição homogênea	Distribuição homogênea	Distribuição homogênea.	Distribuição homogênea
Material Grosso	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, muscovita e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho entre 0,2 e 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	A, B e C - pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, mica (muscovita) e fragmentos de raízes. Fração mineral: tamanho entre 0,2 e 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas. Na zona A, menor presença de grãos grossos (Dm = 0,6 mm);	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho menor que 6 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho entre 0,2 e 1,5 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita e muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho menor que 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.	Pobremente selecionado; domínio de quartzo policristalino, com feldspatos, micas (biotita e muscovita) e fragmentos de rocha; raros fragmentos de raízes. Para fração mineral: tamanho menor que 4 mm, subangulares a subarredondados, esférico a alongados e bordas lisas e rugosas.
Material fino	Amarelo pálido, isótico.	Amarelo pálido, isótico. Zona A apresenta menor proporção de material fino em relação a zona subjacente.	Amarelo brunado; límpido; isótico.	Amarelo brunado; límpido; isótico.	Amarelo claro; límpida; isótico	Amarelo claro; límpida; isótico
Fábricas-b	Salpicada grânida.	Salpicada grânida.	Salpicada grânida e gronoestriada.	Salpicada grânida e gronoestriada.	Salpicada grânida.	salpicada grânida.
Distribuição relativa	Porfírica	A - Porfírica (superfície) e gefúrica-quitônica; B e C - pórfírica	Porfírica	Porfírica	Porfírica	Porfírica
Microestrutura	Complexa formada por fragmentos de blocos, com presença de grandes cavidades (D = 2,5 cm) sem orientação.	A - maciça e grãos com película/grãos com pontes; B - maciça; C - complexa formada por fragmentos de blocos e cavitária com presença de grandes cavidades (Dm = 1,5 cm) sem orientação. Zona A separadas da B por porosidade fissural.	Complexa formada por maciça e fragmentos de agregados. Comum e pequenas cavidades (D < 1,4 mm), canais (Dm = 0,7 mm), câmeras e fissuras sem orientação.	Complexa formada por maciça e fragmentos de agregados. Comum e pequenas cavidades e fissuras sem orientação. Presença de grande cavidade com D entre 0,4 e 0,8 cm.	Maciça e cavitária, com baixa frequência de porosidade do tipo cavidades irregulares e alongadas (elípticas e paralelas a superfície da amostra).	Maciça, com muito baixa frequência de porosidade do tipo cavidades irregulares e vesículas.
Feições pedológicas	Ausente.	A - revestimento superficial tipo crostas (e = 200µm) formada por laminas paralelas de mistura de material fino e grosso (d < 250 micro), sem orientação e sem extinção, maior concentração de fábricas-b estriadas; em justaposição com camada formada por mistura de material fino (em menor proporção) e grãos grossos.	Ausente.	Ausente.	Ausente.	Ausente.

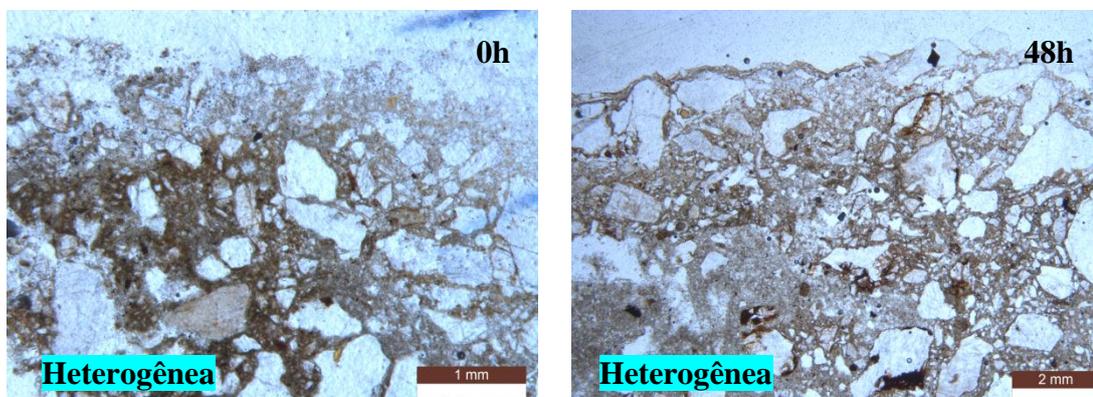
Segundo Fox et al. (2004), as alterações das condições superficiais dependem das características do solo como textura, mineralogia, matéria orgânica, umidade inicial, distribuição, tamanho e estabilidade dos agregados.

Notou-se que as parcelas com cobertura morta em comparação com as sem cobertura apresentaram uma distribuição relativa porfírica para todos os tratamentos. Os resultados mostram que a cobertura foi efetiva na manutenção da estrutura dos agregados e na rugosidade superficial (Tabela 3), onde os valores de rugosidade com presença de cobertura são superiores aos sem cobertura.

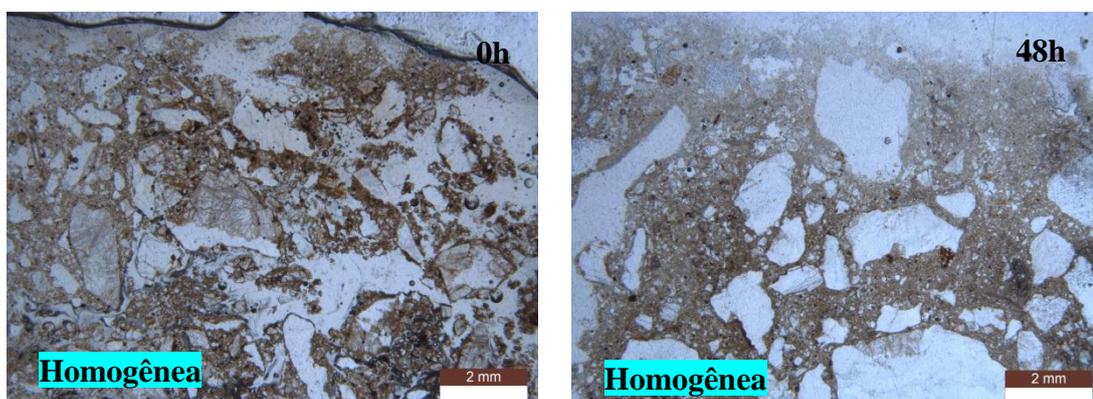
A presença de cobertura apresentou pouca modificação na superfície dos solos, onde apresentou formação maciça e fragmentos de agregados e com baixa frequência de porosidade do tipo cavidades (Figura 11).

Figura 11. Micrografia da camada superficial em razão de duas lâminas de chuva aplicadas após 0h e 48h com cobertura morta (CCM).

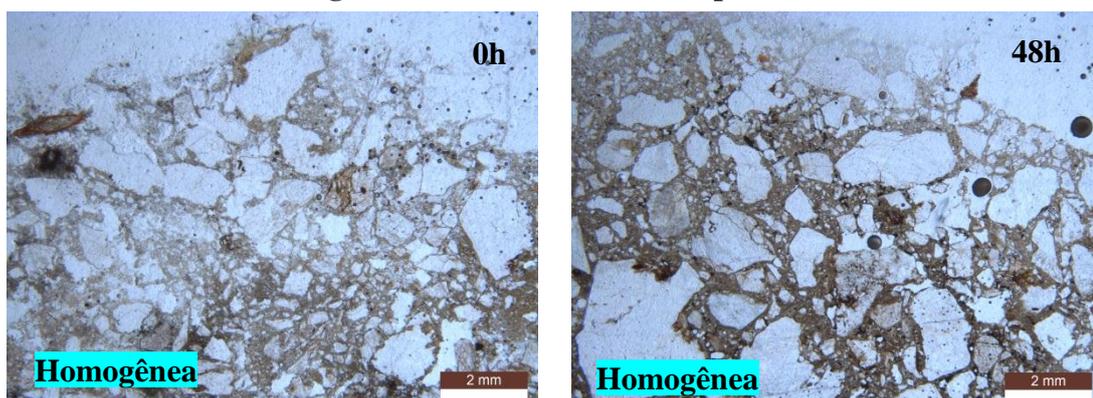
### Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto



### Neossolo Flúvico



### Argissolo Amarelo Eutrófico típico



Segundo Castro et al. (2003), as cavidades são poros relativamente grandes que apresentam formas esféricas a alongadas, às vezes irregulares.

As principais diferenças encontram-se na proporção de seus componentes (poros, material grosso e fino) e na presença de feições pedológicas texturais principalmente

relacionadas com a translocação de argila e, ou reorganização do material fino na superfície, configurando incipientemente a formação de selo superficial.

De modo geral, os selos superficiais não foram identificados nas amostras estudadas, mesmos após as aplicações sucessivas das diferentes lâminas de chuva simulada, sem e com a utilização de cobertura morta sobre a superfície dos solos. Possivelmente, tal fato deve-se á falta de agregação nos solos que não permitiu visualização do contraste microestrutural entre a feição supracitada e a subsuperfície do solo; como também da insuficiência da ação dos ciclos de umedecimento e secagem na reorganização do material fino. Esse critério parece ser indispensável para a manifestação de selo na superfície dos solos em estudo (Tabela 9 e 10).

De acordo com Castro et al, (2003) a modificação da organização dos grãos na superfície promovida pelo impacto das gotas de chuva é uma importante etapa para a formação de selo superficial no solo. Assim, este processo se dá pelos ciclos de umedecimento e secagem que é promovido pela fragmentação seletiva dos agregados.

Segundo Borges et al. (2014), constantes ciclos de umedecimento e secagem e as grandes oscilações de temperaturas podem prejudicar o aproveitamento de água no solo e aumentar a escoamento superficial, resultando na formação do selo na superfície do solo.

Segundo Fox et al. (2004), o processo de umedecimento e secagem leva ao endurecimento das camadas superficiais do solo, interrompendo a infiltração, aumentando a resistência física, isto ao longo de vários eventos de chuva com intervenção de períodos de seca.

## 7. CONCLUSÕES

1. O manejo do solo utilizando cobertura morta influenciou significativamente na redução da erosão, escoamento superficial, infiltração e resistência à penetração, assim como influenciou no retardo do tempo inicial do escoamento superficial.
2. Para todos os tratamentos ocorreu erosão entressulcos.
3. A aplicação de cobertura morta contribuiu para amenizar a perda de solo, taxa de desagregação e perda de água.
4. A análise micromorfológica evidenciou alteração da porosidade para os solos sem cobertura.
5. Apenas para o Neossolo Flúvico, após a primeira aplicação de chuva, foi possível observar uma pequena camada incipiente de selo superficial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKSOY, H.; UNAL, N. E.; COKGOR, S.; GEDIKLI, A.; YOON, J.; KOCA, K.; BORAN, S. I.; ERIS, E. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff sediment transport processes over a two-dimensional flume. **Catena** v.98, p.63–72, 2012.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé - PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n.1, p.136 -141, 2012.

ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L.; Determinação de fatores da Equação Universal de Perda de Solo nas condições de Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.180-188, 2005.

ANDRADE, E. M.; PEREIRA, OSMAR, J.; DANTAS, ROCHA, F. E.; Semiárido e o manejo dos recursos naturais. Fortaleza: Imprensa Universitária - UFC, v.1, p.396, 2010.

ASSIS, R. L.; BAHIA, V. G. Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. Informe Agropecuário, v.19, p.71-78, 1998.

ARAÚJO, L. E. **Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JUNIOR, H. B.; BORGES, E. N. Resistência do solo à penetração em um latossolo vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopedia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.11; 2010.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Efeitos da cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.13, p.373-379, 1989.

BEZERRA, S. A. **Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana-de-açúcar**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 51p. 2004.

BRADFORD, J. M.; AND HUANG, C. 'Mechanisms of crust formation: physical components', Soil Crusting: Chemical and Physical Processes. Proceedings of the 1st International Symposium on Soil Crusting. Advances in Soil Science, Lewis Publishers. p. 55–72, 1992.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.129-138, 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: Bookman, ed.3 p.686, 2013.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.711-721, 1999.

BRESSON, L. M. BOIFFIN, J. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. **Geoderma**. 47, p.301–325. 1990.

BONGES, T. K. S. **Desempenho de técnicas conservacionistas no controle da umidade, erosão hídrica e na produtividade do milho no semiárido pernambucano**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife- PE, 96p. 2013.

BONGES, T K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. S.; SILVA JUNIOR, A. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1862-1873, 2014.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. Wolverhampton, Waine Research Publications, p.153, 1985.

CANTALICE, B. R. J.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.68-74, 2009.

CARVALHO, A. C. B.; RIBEIRO, C. B. M.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; SOBRINHO, F. S. Erosão Potencial Laminar Hídrica em um Latossolo Vermelho Amarelo sob Três Formas de Cultivo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.7, n.1, p.194-206, 2014.

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C.J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M.H.V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.368 – 374, 2012.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.3-9, 2009.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.632–638, 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Xoxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDALTORRADO, P. Micromorfologia do solo: Bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.107-164, 2003.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alteração na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p.339-352, 2006.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entres sulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.117-124, 2003.

CEMIN, G.; PÉRICO, E.; SCHNEIDER, V. E.; FINOTTI, A. R. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do arroio Marrecas, RS, Brasil. **Revista Scientia Plena**, v.9, n.1, 2013.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 743-753, 2003.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 2. **Anais...** Passo Fundo: p. 481, EMBRAPA, 1978.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.263-272, 2009.

CHEN, Y.; TARCHITZKY, J.; BROUWER, J.; MORIN, J.; BANIN, A. Scanning electron observations on soil crusts and their formation. **Soil Science**, Baltimore, v.12, n.1, p.49-55, 1980.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FORTES, L. E. F. Vocabulário da Ciência do Solo. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.90. 1993.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station. Bulletin No. 670. Berkeley. 1942.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhadinha do Sul, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.331-337, 2011.

EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro-RJ. 2 ed., p.306, 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. rev. Atual. Embrapa solo, 230p. 2011.

ESLAMI, H.; SALAJEGHEH, A.; AHMADI, H.; AYOUBI, S.; SARAVI, M. M. Evaluation of Spatial Variations of the Best Rainfall Erosivity Index for Iran, Khuzestan. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v.3, n.1, p.91-97, 2013.

FARENHORST, A.; BRYAN, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. **Catena**, v.25, n.2, p.47-62, 1995.

FRANCO, A. M. P.; CASSOL, E. A.; PAULETTO, E. A.; INDA, A. V. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.18 n.2-4, p.175-187, 2012.

FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B; BEZERRA, S. A; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1743-1751, 2008.

FREIRE, W. J.; PIEDADE JÚNIOR, C. O módulo de finura dos agregados do solo como índice de estabilidade estrutural. **Engenharia Agrícola**, v.3, p.29-36, 1979.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**. v.26, p.113-121, 2006.

FOX, D. M.; BRYAN, R. B. The role of soil surface crusting in desertification and strategies to reduce crusting. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.99, p.149–159, 2004.

GILLETTE, D.A.; ADAMS, J.; MUHS, D.; KIHLE, R. Threshold friction velocities and rupture moduli for crusted desert soils for the input of soil particles into the air. **J. Geophys. Res.** v.87, p.9003– 9015, 1982.

GONDIM, J. E. F.; REBOUÇAS, C. A. M.; PORTELA, J. C.; CAVALCANTE, J. S. J.; SILVA, S.Y. A. M.; DIAS, M. C. C. Resistência mecânica do solo à penetração em diferentes manejos do solo e da caatinga em Governador Dix-Sept Rosado-RN. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.2, p.72-76, 2015.

GRAEF, F.; AND STAHR, K. ‘Incidence of soil surface crust types in semi-arid Niger’, **Soil Till. Res.** v.55, p.213–218, 2000.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.411-417, 2001.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.** v.82, p.121-145, 2005.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.523–530, 2006.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v.81, p.77–85, 2010.

JULIEN, P.Y. Erosion and Sedimentation. Melbourne, Cambridge University Press. 280 p.1995.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.845-855, 2009.

KATZ, D. M.; WATTS, F.J.; BURROUGHS, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. Journal of the Hydraulics Division, **ASCE**, New York, v.121, n.1, p. 547-553, 1995.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S.; SIZE DISTRIBUTION OF AGGREGATES. IN: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Eds.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part 1. Madison: **American Society of Agronomy**, v.2, p.499-510. 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: **American Society of Agronomy**. Part 1, p.425-442. Agronomy 9, 1986

LESSA, L. G. F.; LIMA, S. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise multitemporal das perdas de solo por voçorocas, da sub-bacia Ribeirão das Bicas – Botucatu/SP, através de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Energia na Agricultura**, v.22, n.1, p.61-74, 2007.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.4, p.697-706, 2015.

LIMA, E.R.V. Erosão do solo: Fatores condicionantes e modelagem matemática. Disponível em: < <http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/logepa/article/view/10981/6166> >: cesso em: 12 maio 2015.

LIMA C. A. **Perdas de solo, água e nutrientes em cultivo de mandioca no Recôncavo da Bahia**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE, 78p. 2013.

LIMA, H.V.; LIMA, R.L.C.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.677-684, 2005.

LEYS, J. F.; ELDRIDGE, D. J. Influence of Cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. *Earth Surf. Process. Landf.* v.23, p.963–974, 1998.

MANNERING, J.V.; MEYER, L. D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, **Madison**, v.27, n.1, p.84-86, 1963.

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.8-18, 2009.

MEHL, H. U. **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, f.53, 2000.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1878-1891, 2012.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne*, v.12, p.211-220, 2006.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V.P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109 p.139–149, 2013.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.30-37, 2006.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; SOBRINHO, T. A.; NUNES, A. C. S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.1-5, 2001.

MURPHY, C. P. Thin section preparation of soils and sediments. Berkhamsted, A.B. Academic Publication, p.149, 1986

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. *J. Soil Sci.* v.98, p.498-508, 1977.

OLIVEIRA, Z. B.; CARLESSO, R.; MARTINS, J. D.; KNIES, A. E.; SANTA, C. D. Perdas de água por escoamento superficial a partir de diferentes intensidades de chuvas simuladas. **Irriga**, v.18, n.3, p.415-425, 2013.

OLIVEIRA, F. P.; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.337-346, 2012.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho - amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.140 – 147, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A.; JOSÉ FREIRE, F.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana – de – açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.1343 - 1352, 2010.

PAN, Y. X; WANG, X. P; JIA, R. L.; CHEN, Y. W.; HE, M. Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. **Journal of Arid Environments**, v.72, p.1975-1683, 2008.

PARSONS, A. J.; WAINWRIGHT, J.; FUKUWARA, T.; ONDA, Y. Using sediment travel distance to estimate medium-term erosion rates: a 16-year record. *Earth Surface Processes and Landforms*. Sussex DOI: 10.1002, 2010.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. FERRERIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.521-529. 2001.

PERINI, M.; MEDEIROS, G. A.; LUCARELLI, J. R. F.; FERREIRA, J.C.; DANIEL, L A. Efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento radicular da soja (*Glycine max*, L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA 12 AGRÍCOLA, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA. p. 319-321. 1998.

RAJOT, J. L; ALFARO S. C; GOMES, L; GAUDICHET, A. Soil crusting on sandy soils and its influence on wind erosion. **Catena**, v.53, p.1-16, 2003.

RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; CREMON, C.; ROQUE, M. W. Erosão por Salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um neossolo quartzarênico em Cáceres (MT). **Global Science and Technology**. v.4, n.1, p.38 – 50, 2011.

RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology**, 424–425, 99–111, 2012.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.16, p.289 – 298, 1992.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling** . Madison, ASASSSA, p.128-152. 1965.

ROBINSON, D. A.; AND PHILLIPS, C. P. 'Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils from central and southern Italy', **Soil Till. Res.** v.60, p.1-9, 2001.

RODRIGUES, J. O. **O uso da terra e resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas.** DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 128f. 2009.

ROSA, J. D.; COOPER, M.; DARBOUX, F.; MEDEIROS, J. C. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa. v.37, p.400-410, 2013.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. Compactação do solo: consequências para o desenvolvimento vegetal. Planaltina: Embrapa-Cerrados, 26p, 2005.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.871-880, 2012.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 42, 3, p.813 – 820, 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.670-679. 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, M. E. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.217-225, 2009.

SANTOS, T. E. M. **Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semiárido pernambucano.** 60p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2006.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Análise das perdas de água e solo em um Vertissolo Cromado sob diferentes sistemas de manejo. **Boletim Goiano de Geografia**, v.32, n.2, p.93-107, 2012.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15, n.2, p.131–138, 2011.

SILVA JR, V. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. P. N.; GUERRA, S. M. S.; SANTOS, E. S. Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15, n.10, p.1073–1081, 2011.

SILVA, J. V.; ALECRIM, M.A.B.; SILVA, D. O.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, R. J. Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho - Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Fortaleza, v.5, n.4, p.579 - 584, 2010.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SILVA, D. D. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SCHAEFER, C. E. R; SILVA, D. D. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturas em Argissolo vermelho-amarelo sob chuvas simuladas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SHEN, J. Y.; ZHAO, D. D.; HAN, H. F.; ZHOU, X. B.; LI, Q. Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. **Plant, Soil and Environment**. v.58, p.161-166, 2012.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, p. 437, 1993.

SPOHR, R.B.; CARLESSO, R.; ELTZ, F.L.F.; BROETTO, T.; FLORES, C.H.; KNIES, A.E. Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 2007, Gramado. **Anais...** Rio Grande do Sul, 2007.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.229-235, 1991.

SWANSON, N. P. Rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v.8, n.1, p.71-2, 1965.

VALENTIN, C.; BRESSON, L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*, Amsterdam, v.55, p.225-45, 1992.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VASCONCELOS, R. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. B.; SILVA, N. M. L. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1318–1325, 2013

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocóseo de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.309-316, 2010.

VICENTE, T. F. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUSA, A. M. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1215–1222, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, p.102. 1975.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

YOUNG, R. A.; BURWELL, R. E. Prediction of runoff and erosion from natural rainfall using a rainfall simulator. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.36, n.5, p.827-30, 1972.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys Union, v.39, p.285- 291, 1958.

ZHAO, X.; CHEN, X.; HUANG, J. WU, P.; HELMERS, M. J. Effects of vegetation cover of natural grassland on runoff and sediment yield in loess hilly region of China. **Research Article**. v.94, p.497–503, 2013.

ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, M. R. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.377-388, 2012.