

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

EDJA LILLIAN PACHECO DA LUZ

AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO EM SOLOS SUBMETIDOS
A DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Orientador: Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Coorientadores: Dr. Prof. Genival Barros Júnior
Dr. Prof. Brivaldo Gomes de Almeida

Recife,
Julho, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

EDJA LILLIAN PACHECO DA LUZ

AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO
EM SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE
COBERTURA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Coorientadores: Prof. Dr. Genival Barros Júnior

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Recife, PE

Julho, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L979a Luz, Edja Lillian Pacheco da
Avaliação da infiltração em solos submetidos a diferentes tipos de
cobertura no semiárido pernambucano / Edja Lillian Pacheco da Luz.
– Recife, 2018.
72 f.: il.

Orientador(a): Victor Casimiro Piscoya.
Coorientador(a): Genival Barros Júnior, Brivaldo Gomes de
Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, BR-PE, 2018.

Inclui referências.

1. Regiões áridas 2. Degradação ambiental 3. Cobertura dos solos
4. Infiltração 5. Bacias hidrográficas I. Piscoya, Victor Casimiro,
orient. II. Barros Júnior, Genival, coorient. III. Almeida, Brivaldo
Gomes de, coorient IV. Título

CDD 628

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO UTILIZANDO INFILTRÔMETRO DE CILINDROS
CONCÊNTRICOS EM SOLOS COM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

EDJA LILLIAN PACHECO DA LUZ

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 27 de julho de 2018

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Presidente da Banca Examinadora (Orientador) - UFRPE

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho
Membro Titular - UFRPE

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho
Membro Titular– UFT

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente na minha vida;

A meu pai, Everaldo Pacheco da Luz (*in memoriam*) que desde cedo me incentivou a dar meu melhor nos estudos e na vida, embora tenha partido muito cedo ajudou a formar grande parte da pessoa que sou hoje;

A minha mãe, Sônia Maria Melo da Luz, por seu amor e por ser um exemplo de determinação diante das horas mais difíceis;

A meu irmão, Everaldo Pacheco da Luz Jr. por todo apoio e amizade;

Aos meus amigos e colegas pelos momentos compartilhados, em especial a Marília Costa, Cartiele Borges, Patrícia Santos, Fabrício Ângelo e Débora Souza;

Ao meu orientador, professor Dr. Victor Casimiro Piscoya agradeço pela confiança depositada e pelo desafio proposto nesse projeto;

Ao professor, Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, por seus ensinamentos, por sua ajuda durante as análises no Laboratório de Física do Solo e por sua valiosa contribuição na realização desta pesquisa;

Ao professor Dr. Fernando Cartaxo, por sua disponibilidade e ajuda na classificação dos solos estudados nesse trabalho;

Ao professor Dr. Moacyr Cunha Filho, pela colaboração nas análises estatísticas dos resultados obtidos nesse estudo;

Ao professor Dr. Sergio Guerra pela colaboração na elaboração dos mapas de representação utilizados nesta pesquisa;

Ao professor Dr. Alex Morais, pela ajuda e uso da mufla para quantificação da MOS no Laboratório de Geoquímica e Tecnologia Ambiental (LGTA);

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental-PPEAMB, Dra. Soraya El-Deir, Dr. Eduardo Souza, Dr. Ramon Cantalice, Dr. Romildo Mourant, Dr. Artur Coutinho e Dr. Marcus Metri que contribuíram com seus conhecimentos e experiências compartilhadas;

As funcionárias do PPEAMB, Walquiria Brito e Ednalva Gomes pelo apoio prestado;

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo suporte financeiro durante a realização do mestrado;

Ao senhor Erasmo Pereira, proprietário da Fazenda Cedro, por gentilmente ter permitido a condução dos experimentos, aberturas de perfis e coleta de solo em sua propriedade;

A João Cláudio Rodrigues Torres por me ajudar a manter a carga hidráulica constante durante os ensaios de infiltração em campo, principalmente na área de caatinga no município de Serra Talhada.

RESUMO

Ações antrópicas, como retirada da vegetação nativa aliadas às mudanças climáticas, a suscetibilidade aos processos erosivos e um balanço hídrico negativo em grande parte do ano têm alterado o fluxo de água nas bacias hidrográficas da região semiárida. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a capacidade de infiltração utilizando infiltrômetro de anel concêntrico em três diferentes condições de coberturas do solo da classe Neossolo Flúvico: solo sem cobertura, solo coberto por serrapilheira e solo coberto por caatinga na região semiárida do sertão do Pajeú. As curvas das taxas de infiltração determinadas utilizando o infiltrômetro de cilindros concêntricos, obtidas em testes de infiltração em campo foram comparadas as estimadas pelos modelos de Horton e de Kostiakov. A avaliação das diferentes capacidades de infiltração determinadas nos três tratamentos foi feita a partir das análises dos atributos físico-hídricos e o percentual de matéria orgânica dos solos das três áreas estudadas. Dentre os tratamentos estudados, o solo coberto por caatinga semi-arbustiva apresentou a maior capacidade de infiltração e a maior velocidade de infiltração básica, assim como características referentes a uma melhor qualidade do solo foram encontradas nesse tratamento. A substituição da vegetação nativa e a ausência total de vegetação refletiram em diferenças significativas entre esses dois tratamentos. Dos modelos analisados, o de Horton, apresentou o melhor ajuste dos valores estimados da taxa de infiltração com os determinados em campo com uso do infiltrômetro.

Palavras-Chave: Semiárido, Dinâmica da água, Degradação Ambiental.

ABSTRACT

Anthropogenic actions such as removal of native vegetation coupled with climate change, susceptibility to erosive processes and a negative water balance for much of the year have altered the flow of water in the watersheds of the semi-arid region. The objective of this research was to evaluate the infiltration capacity in three different soil classified as Neossolo Flúvico cover conditions, soil without cover, soil covered by litter and soil covered by caatinga in the semi - arid region of the Pajeú hinterland. The infiltration rate curves determined using the concentric cylinder infiltrator obtained in field infiltration tests were compared to those estimated by the Horton and Kostiakov models. The evaluation of the different infiltration capacities determined in the three treatments was made from the analysis of the physical-water attributes and the percentage of organic matter of the soils of the three studied areas. Among the treatments studied, the soil covered by semi-shrub caatinga, presented the highest infiltration capacity and the highest rate of basic infiltration, as well as characteristics referring to a better soil quality were found in this treatment. The replacement of native vegetation and total absence of vegetation reflected significant differences between these two treatments. From the analyzed models, the Horton model presented the best fit of the estimated values of the infiltration rate with those determined in the field using the infiltrator.

Keywords: Semi-arid, Water dynamics, Environmental degradation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Taxas típicas de infiltração.....	20
Tabela 2.	Classificação da declividade da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu.....	32
Tabela 3.	Parâmetros físico-hídricos e morfométricos da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE.....	33
Tabela 4.	Distribuição de uso do solo da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE.....	34
Tabela 5.	Quantificação da análise granulométrica e caracterização física do solo nos três tratamentos.....	37
Tabela 6.	Separação das frações de areia e índices de floculação e dispersão de argila para os três tratamentos.....	37
Tabela 7.	Densidade de partículas, Densidade do solo e Porosidade Total nas profundidades e tratamentos estudados.....	37
Tabela 8.	Quantificação da matéria orgânica nos três tratamentos e profundidade estudados.....	41
Tabela 9.	Índices de estabilidade de agregados dos solos nas três coberturas de solo.....	48
Tabela 10.	Resistência Tênsil dos agregados dos solos para os tratamentos estudados.....	50
Tabela 11.	Índices estatísticos de eficiência dos modelos emprícos de Kostiakov e Horton para os solos estudados nas condições de tempo chuvoso e tempo seco.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo Bacia Hidrográfica do Riacho Exu, Serra Talhada – PE.....	27
Figura 2. Imagem da área de estudo localizada próxima a PE-414.	27
Figura 3. Vista dos locais do experimento: T1 solo descoberto; T2 área coberta por serapilheira; T3 área de caatinga	27
Figura 4. Perfis representativos das áreas estudadas,T1 solo descoberto; T2 área coberta por serapilheira; T3 área de caatinga, usados para classificação dos solos:.....	29
Figura 5. Precipitações pluviométricas mensais (mm) dos anos de 2016 e 2017 no município de Serra Talhada-PE:.....	30
Figura 6. Distribuição das precipitações pluviométricas anuais (mm) para o período de 1986 – 2016 no município de Serra Talhada – PE.....	30
Figura 7. Rede de drenagem mostrando a ordem dos cursos d’água da Bacia Hidrográfica Semiárida do Riacho Exu, Serra Talhada – PE.....	31
Figura 8. Carta de declividade da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu, Serra Talhada – PE.....	32
Figura 9. Carta de vegetação e uso da Bacia Hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE.....	34
Figura 10. Análise granulométrica pelo método do densímetro.....	41
Figura 11. Análise de Resistência Tênsil em Penetrômetro	38
Figura 12. Equipamentos de Laboratório utilizados na pesagem e queima em mufla das amostras de solo na quantificação da matéria orgânica.....	41
Figura 13. Instalação de cilindros concêntricos e registros de dados.....	42

Figura 14. Massa do solo quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água nos tratamentos Solo Descoberto, Serrapilheira e Caatinga	49
Figura 15. Infiltração acumulada (cm) em função do Tempo (min) nas áreas de Caatinga, Solo com Serrapilheira e Solo Descoberto para o período chuvoso.....	51
Figura 16. Infiltração acumulada (cm) em função do Tempo (min) nas áreas de Caatinga, Solo com Serrapilheira e Solo Descoberto para o período seco.....	51
Figura 17. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo Descoberto em período chuvoso	52
Figura 18. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo Descoberto em período seco.	52
Figura 19. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Serrapilheira em período chuvoso	53
Figura 20. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Serrapilheira em período seco.....	53
Figura 21. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Caatinga em período chuvoso.....	54
Figura 22 Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Caatinga em período seco.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Semiárido Nordeste	14
3.2. Processos físicos da Infiltração e escoamento superficial de água no solo.....	17
3.3. Escoamento superficial	23
3.4. Fatores climáticos no semiárido nordestino.....	25
3.5. Processos físicos da Infiltração e escoamento superficial de água no solo.....	17
3.5.1 Agregação do solo.....	17
3.5.2 Resistência tênsil de agregados (RT).....	18
3.5.3 Densidade do solo e densidade de partículas.	20
3.5.4 Influência do tamanho das partículas na taxa de infiltração.	20
3.6 Matéria orgânica do Solo (MOS).....	22
3.7 Determinação da capacidade de Infiltração do solo.....	22
3.7.1. Utilização de modelos na predição da infiltração.	23
3.8 Fatores que afetam a infiltração.....	24
3.9 Influência da cobertura vegetal nos processos de infiltração.....	25
4. METODOLOGIA	26
4.1. Localização e Descrição da Área de Estudo	26
4.2. Classes de solo	28
4.3. Condições climáticas.....	29
4.4. Características de parâmetros físico- hídricas da bacia hidrográfica semiárida do Exu.....	30
4.4.1. Rede de drenagem e ordem dos canais da Bacia Hidrográfica semiárida do riacho Exu.	31
4.4.2. Caracterização da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu.....	33
4.4.3. Vegetação e uso do solo da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu	33
4.5. Coleta de Amostras para a caracterização física do solo	35
4.6. Características físicas do solo	35
4.6.1 Resistência Tênsil dos agregados (RT).....	38
4.6.2 Estabilidade de Agregados	39
4.7. Quantificação de Matéria Orgânica	40
4.8. Determinação da Capacidade de Infiltração com anéis concêntricos	41
4.8.1 Aplicação dos Modelos de Horton e Kostiaikov.....	42
4.9. Estatística descritiva aplicada aos dados da pesquisa.....	43

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1. Características da bacia hidrográfica semiárida do Exu	45
5.2. Características do solo e sua influência na infiltração	46
5.3. Infiltração Acumulada e Capacidade de Infiltração	50
6. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é considerada um dos principais processos de degradação ambiental fortemente ligado a mudanças climáticas que vêm afetando extensas áreas em escala global. Estima-se que aproximadamente 35% (cerca de 50 milhões de km²) da superfície terrestre sejam afetados por condições climáticas áridas e semiáridas (ZIADAT et al., 2012) definidas pela escassez de água e caracterizadas por extremos climáticos sazonais com padrões de chuva imprevisíveis.

Estima-se que 10 a 20% das terras secas agora sofram grave degradação (DOBIE, 2001; REYNOLDS et al., 2007), um impacto que afeta cerca de 250 milhões de pessoas no mundo em desenvolvimento (entre 1% e 6% da população mundial vivem de áreas degradadas a áreas secas). A degradação ambiental pode assumir a forma de erosão do solo, depleção de nutrientes, salinidade alterada e/ou interrupção dos ciclos biológicos, reduzindo a produtividade e afetando a capacidade dos ecossistemas em absorver e usar água da chuva. Combinado com o manejo inadequado das culturas e do solo, podendo levar a "secas agrícolas" (UNITED NATIONS ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP, 2011).

A escassez de água em regiões áridas e semiáridas levaram a adaptações fisiológicas e comportamentais únicas em muitas espécies de plantas e animais. Regimes de variações tanto no clima, como na topografia, geologia, tipo e qualidade do solo, regimes de queima, e a influência da gestão humana foram fatores importantes na condução da diversidade de espécies das terras secas formando uma miscelânea de contrastes de habitats, que determinaram a distribuição dos organismos vivos (BONKOUNGOU, 2001).

O estado de insegurança alimentar que atinge 925 milhões de pessoas no mundo, sendo que 800 milhões destas vivem no campo, vem sendo agravado pela tendência atual do aumento do preço dos alimentos. A redução da fome da população só será possível com um aumento significativo na produção agrícola e consequente aumento na produção de alimentos dependendo em grande parte de investimentos no controle da água, pedra angular do desenvolvimento agrícola (BELIK, 2013).

O semiárido nordestino está entre os ambientes mais variáveis e imprevisíveis do mundo, onde a precipitação é baixa e mal distribuída com alta variabilidade interanual do clima (HESSE, 2011). A precipitação pluviométrica nesta região é marcada pela variabilidade espaço-temporal com valores de potencial de evapotranspiração muito elevados em função da radiação solar incidente nas áreas de baixas latitudes com valores acima de 12 mm/dia que reduzem a umidade do solo e a quantidade de água armazenada nos reservatórios, o que em conjunto com a

precipitação reduzida e irregular durante o ano promovem um balanço hídrico climático anual negativo e frequentemente ocorrem longos períodos de seca; contudo a ocorrência de grandes enchentes não é rara (ELALAOUI, 2008; MARENGO et al., 2011).

De acordo Srinivasan e Poongothai (2013) além da ocorrência de precipitação, merece destaque para o equilíbrio dos recursos hídricos da região o processo de infiltração, uma vez que a água ao cair na superfície do solo e atravessar suas camadas reabastece a deficiência de umidade do solo.

A infiltração de água da chuva no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo e o conhecimento da taxa de infiltração nestes ambientes é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (GONDIM et al., 2010), mesmo quando as águas superficiais se acumulam, estas não são facilmente retidas, pois altas temperaturas com precipitações intensas causam grandes perdas por evaporação (MOURA, 2006).

A cobertura vegetal influencia nos processos de erosão, atuando na redução do volume de água que chegam ao solo, através da interceptação, alterando a distribuição do tamanho das gotas de chuva (BRANDT, 1989), afetando, com isso, a energia cinética da chuva (SILVA; SANTOS, 2009). Sob chuva ou irrigação contínua, a taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido por taxa de infiltração básica ou velocidade de infiltração básica (ALVES SOBRINHO et al., 2003).

A água infiltrada no solo determina o balanço de água na zona radicular das culturas, sendo fator essencial para o planejamento da agricultura de sequeiro e, principalmente para a agricultura irrigada. O conhecimento do processo de infiltração também é de fundamental importância para o manejo e conservação do solo e da água, por ser determinante da ocorrência do escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis como a erosão e as inundações (BRANDÃO et al., 2006).

Por tanto, estudos que avaliam as taxas de infiltração do solo e os fatores que afetam esse processo em áreas de alto potencial erosivo e que sofrem com a escassez de água como no caso da região semiárida pernambucana se mostram fundamentais. Assim, o conhecimento do processo de infiltração da água no solo fornece subsídios não apenas para o dimensionamento de estruturas de controle de erosão e de inundações, mas também para definição de melhores práticas de uso e manejo do solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Determinar as taxas de infiltração da água no solo utilizando infiltrômetro de cilindros concêntricos no ambiente semiárido em solos sob diferentes tipos de cobertura: solo descoberto, solo coberto por serrapilheira e solo coberto por caatinga semiarborescente.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a taxa de infiltração em diferentes tipos de cobertura vegetal na região semiárida via infiltrômetro de cilindros concêntricos.
- Analisar os fatores que afetam o processo de infiltração nessas condições de cobertura.
- Avaliar o desempenho de predição dos modelos empíricos propostos por Horton e por Kostiaikov para as taxas de infiltração determinadas em campo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Semiárido Nordestino

De acordo com Hesse (2011) o semiárido nordestino está entre os ambientes mais variáveis e imprevisíveis do mundo, a precipitação é baixa e mal distribuída com alta variabilidade interanual do clima onde a caatinga é o ecossistema predominante, cuja flora é composta por árvores e arbustos caracterizados pela rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região. O nome “Caatinga” é de origem tupi-guarani que significa “floresta branca” (ALBUQUERQUE; BANDEIRA, 1995).

A Caatinga apresenta uma área total de 844.453 km², que corresponde a 9,92% do território nacional. Já em Pernambuco, abrange uma área de 81.141 km² (IBAMA, 2017). Estudos do monitoramento do território total da Caatinga revelaram que 16.576 km² foram devastados diretamente por ação antrópica intensiva aliados à vulnerabilidade e aos efeitos das mudanças climáticas, exibindo uma forte tendência à desertificação (LIRA et al., 2012).

Das formações vegetais, considera-se a caatinga um dos biomas brasileiros mais alterados pela atividade humana, não havendo levantamentos sistemáticos sobre a evolução de sua cobertura vegetal ao longo do tempo (CAPOBIANCO, 2002); é importante ressaltar que, pela necessidade de se alimentar a população foi envolvida num processo de interiorização da pecuária, mesmo considerando o fenômeno das secas periódicas. Foi nessa época que se implantou na região semiárida a agricultura de sequeiro para subsistência, caracterizada pela exploração no período chuvoso, em pequenos roçados cercados por varas, dos cultivos de feijão, milho, fava e mandioca nas partes laterais de riachos ou canais (CORREIA et al. 2017).

Com relação a precipitação, os quatro meses mais chuvosos para os estados do Oeste da Paraíba, Pernambuco, Leste do Piauí e região Norte da Bahia, são janeiro, fevereiro, março e abril, contudo, é possível observar eventos de precipitação no mês de dezembro (CORREIA et al. 2017).

Os solos nessas regiões apresentam características similares apesar das diferentes classificações adotadas e dos distintos processos de desenvolvimento. A maioria dos solos do semiárido são rasos e pobres em matéria orgânica (ELALAoui, 2008). Isto é uma séria limitação para o estoque de água no solo e fertilidade do solo, os quais estão diretamente correlacionados com a baixa produtividade biológica (THOMAS, 2008).

3.2. O processo de infiltração de água no solo

À medida que a água infiltra no solo, as camadas superiores do perfil vão se umedecendo no sentido de cima para baixo, alterando gradativamente a umidade do solo. Enquanto há aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a camada superficial, naturalmente a primeira a saturar. Normalmente a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, conformando um perfil típico onde o teor de água decresce com a profundidade (BRANDÃO et al., 2006; SILVEIRA et al., 2000).

Do ponto de vista histórico, os primeiros testes de infiltração no campo com um potencial hidráulico imposto na superfície do solo foram obtidos utilizando um dispositivo simples chamado “anel de Muntz”. Este dispositivo consiste em um cilindro de metal no qual a água que irá se infiltrar é mantida sob uma carga hidráulica constante. O volume de água infiltrado no solo é medido em intervalos de tempos regulares até a obtenção de um regime quase permanente. Quando esse regime é alcançado o solo encontra-se saturado ou próximo à saturação. Neste caso a velocidade de infiltração é considerada igual à condutividade hidráulica saturada (VANDERVAERE, 1995).

Embora, as medidas de infiltração feitas dessa forma não consideram a quantidade de água absorvida pelo solo através da capilaridade para fora do cilindro. Para minimizar esse problema adicionou-se outro anel de diâmetro maior ao sistema para diminuir os efeitos de bordadura (VANDERVAERE, 1995).

Segundo Souza et al. (2013) os estudos de avaliação das taxas de infiltração da água em solos do semiárido nordestino em sua maioria estimam as propriedades hidráulicas do solo a partir da medida de fluxos de infiltração transitório ou estacionário da infiltração tridimensional, que emanam de um disco (infiltrômetro a disco) ou de um cilindro que pode ser um infiltrômetro de anel simples ou de anéis concêntricos como no estudo tratado.

Durante os estudos de avaliação da taxa de infiltração a infiltração alcança uma determinada velocidade semelhante ao que ocorre no início da chuva ou irrigação, com tendência a diminuir gradativamente com o tempo, alcançando um valor mínimo e constante, passando a ser conhecida como velocidade básica de infiltração - VIB (REICHARDT, 1987).

3.3. Escoamento superficial

O escoamento superficial é determinado pela água que excede a capacidade de infiltração no solo e flui pela superfície do mesmo. Segundo Zhidong et al. (1988) a determinação da fração de irrigação ou de água da chuva que penetra no solo afeta a quantidade de escoamento superficial e este último como destaca o autor pode promover a erosão do solo.

O escoamento superficial é uma função dependente da quantidade e intensidade da chuva, inclinação do terreno, classe de solo, características da superfície e cobertura vegetal. Destes, apenas os dois últimos são potencialmente sujeitos a controle rotineiro, embora as inclinações do local possam ser modificadas pela construção de terraços. Além disso, a cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas (PANACHUKI et al. 2011).

Se o escoamento superficial natural da água da chuva propicia a erosão geológica, a sua infiltração é, em grande parte, responsável pela alteração das rochas e formação dos solos, impondo certa condição de equilíbrio entre erosão e formação do solo. O fluxo natural tanto de superfície como de subsuperfície atuam no processo de formação dos solos, induzindo-lhes maior ou menor susceptibilidade à erosão (CARVALHO et al. 2012).

Contudo a taxa de água que penetra no solo depende da capacidade de infiltração, sendo a mesma controlada diretamente pelos fatores do solo, fazendo com que seu estudo seja de grande importância na compreensão e gerenciamento de processos hidrológicos, abastecimento de água, irrigação e erosão do solo (LIU et al., 2011).

3.4. Fatores climáticos no semiárido nordestino

Os fatores climáticos são determinantes na produção da agricultura de sequeiro, a precipitação nesta atividade agrícola é crucial, pois não existe fonte de água disponível como ocorre em áreas irrigadas, assim a falta de conhecimento e planejamento nesse tipo de plantio pode levar a perda total da cultura (COUTINHO et al., 2013).

O Semiárido no Nordeste do Brasil (SNEB) é a única região seca intertropical e com regime de chuvas irregulares. Devido à irregularidade dessas chuvas, podem-se

ter anos com pouca chuva ou anos com chuvas abundantes, soma-se a isso a exclusividade fitogeográfica do bioma caatinga, além das características singulares do solo dessa região, rasos, salinos, com grandes potenciais erosivos e suscetíveis aos processos de desertificação (PINTO, 2002).

Tratando-se do SNEB é comum que pequenos córregos se tornem rios temporários em função de poucas horas de chuvas convectivas. Além disso, alguns riachos podem ser formados enquanto outros a poucos quilômetros podem permanecer secos. Isto acontece devido ao escoamento superficial que ocorre em áreas secas, que contribuem para isso além da cobertura vegetal esparsa e solos pouco desenvolvidos, que são frequentemente secos com baixa capacidade de infiltração (MTISI; NICOL, 2013).

Nesse contexto, como afirma Pontes (2010) é fundamental promover novas expectativas quanto às possibilidades de convivência com o semiárido, assim estudos que promovam o conhecimento sobre a dinâmica da água em solos com tantas particularidades como a região semiárida são de grande importância.

Além disso, na perspectiva ecológica, que aborda o tema das secas no semiárido destacada por Souza e Medeiros Filho (1984) baseada no eco desenvolvimento (atualmente esse conceito foi discutido aprimorado e substituído pelo Desenvolvimento Sustentável que supõe um equilíbrio entre o ambiente natural e a sociedade), pesquisadores apontam para a relação entre as secas e a destruição da flora nordestina nos últimos séculos, assim como dos recursos naturais.

A necessidade de atender a demanda de água faz com que o manejo e a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos sejam assegurados, porém estes são dependentes do nível de recarga promovido pela quantidade, intensidade e duração da chuva, bem como das propriedades do solo. Este último inclui a natureza (natural e modificada) da cobertura do solo (por exemplo, com vegetação, solos degradados, solos descobertos, etc.), bem como a capacidade de infiltração e características de retenção de água (MTISI; NICOL, 2013).

3.5. Processos físicos da Infiltração e escoamento superficial de água no solo

3.5.1. Agregação do solo

A formação e estabilidade de agregados são resultantes da aproximação e cimentação das partículas do solo mediante a atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos (SILVA et al., 2006). Além de substâncias agregantes, existem os agentes de

agregação, representados pelo clima, raízes, micro-organismos e pelo próprio tracionamento do solo (SILVA; MIELNICZUCK, 1997). A intensidade com que esses mecanismos agem influencia a resistência dos agregados à ação das forças desagregantes, que podem estar relacionadas com a capacidade do solo de conservar sua estrutura sob ação da água ou com a pressão mecânica (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006; FONTENELE; SALVIANO; MOUSINHO, 2009.).

Os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanho dos agregados são influenciados pela matéria orgânica, cuja quantidade irá permitir maior ou menor agregação do solo. Além da matéria orgânica, a resistência à desagregação e dispersão também é influenciada pela composição textural do solo (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998).

A agregação pode ter seu efeito acelerado pela exploração radicular no perfil do solo, que, no processo de crescimento, promove a aproximação das partículas à medida que as raízes exercem pressão sobre as partículas minerais no seu avanço pelo espaço poroso. Além disso, a absorção de água pelas raízes causa secamento na sua região adjacente, promovendo aumento na força de coesão entre as partículas (CALONEGO; ROSOLEN, 2008; ZONTA et al., 2006).

Outro importante agente cimentante das partículas do solo são os exsudados orgânicos liberados pelas raízes. O incremento desses compostos orgânicos, além do efeito direto na agregação do solo, serve de energia para a atividade microbiana, que libera moléculas orgânicas como subprodutos do metabolismo (ácidos húmicos e polissacarídeos), as quais também atuam como agentes aglutinadores das partículas minerais (MIELNICZUK, 2008). Essas moléculas agem na estabilidade dos agregados pelas ligações de polímeros orgânicos com superfície inorgânica, por meio de cátions polivalentes (CASTRO FILHO et al., 1998).

3.5.2. Resistência tênsil de agregados (RT)

A resistência tênsil do solo é definida como a força por unidade de área necessária para causar a quebra dos agregados do solo (DEXTER; WATTS, 2000), é provavelmente uma das mais úteis medidas de avaliação da condição estrutural dos solos, pois, é extremamente sensível à microestrutura do solo, e isto a torna um valioso parâmetro de medida em estudos do comportamento da estrutura (DEXTER; KROESBERGEN, 1985).

A magnitude da resistência tênsil reflete a hierarquia dos agregados na estrutura do solo, de modo que o fraturamento dos agregados maiores ocorre nos planos de

fraqueza derivados das fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência (TORMENA et al. 2008).

Outra vantagem da RT é sua utilização como um fator que mede a facilidade das raízes em penetrar o solo. Problemas no estabelecimento das culturas foram associados a valores elevados de resistência tênsil (LEY et al., 1993). Segundo Tormena (2008) a resistência tênsil de agregados do solo também pode ser utilizada como indicador dos efeitos do manejo na qualidade do solo, em relação à reação do solo aos processos físicos e mecânicos ligados ao uso dos solos que influenciam no preparo, na formação de crostas superficiais, na emergência de plântulas e na penetração radicular.

Logo, os fatores que influenciam na resistência tênsil e sua relação com a mesma fez parte de vários estudos ao longo dos anos. São eles, o formato dos agregados do solo, conteúdo de água (ÖZTAS et al., 1999; DEXTER; WATTS, 2000; UTOMO; DEXTER, 1981; CHAN, 1989; WATTS et al., 1996), concentração e composição da solução do solo (RAHIMI et al., 2000), ciclos de umedecimento e secagem (DEXTER, 1988; MATERECHERA et al., 1991; KAY; DEXTER, 1992), quantidade de argila dispersa (KAY; DEXTER, 1992; BARZEGAR et al., 1994; WATTS et al., 1996), estabilidade dos agregados (MATERECHERA et al., 1991; MACKS et al., 1996), conteúdo de argila e mineralogia (KEMPER et al., 1986; GUÉRIF, 1988; LEY et al., 1993; IMHOFF et al., 2002), e teor de matéria orgânica do solo (CASUARANO, 1993; PERFECT et al., 1995; MACKS et al., 1996; RAHIMI et al., 2000; IMHOFF et al., 2002).

Contudo, a ação destes fatores sobre a RT dependerá também das condições climáticas, práticas de manejo e composição da solução do solo (KAY; DEXTER, 1992; KEMPER et al., 1987; MACKS et al., 1996; WATTS; DEXTER, 1997).

As atividades de preparo do solo podem levar a perda ou aumento excessivo da resistência de um solo. A causa da diminuição dessa resistência é função da diminuição e/ou destruição das ligações químicas entre as partículas, de ambas as naturezas orgânica e inorgânica, tornando o solo mecanicamente instável (IMHOFF et al., 2002). Em contrapartida, o aumento excessivo da RT está associado à maior quantidade de argila dispersa em água em solos fisicamente degradados, a qual se deposita nas fissuras existentes entre os agregados e atua como agente agregante (DEXTER; WATTS, 2000). Ambos os efeitos levam a um impacto negativo sobre a qualidade física do solo (IMHOFF et al., 2002).

3.5.3. Densidade do solo e densidade de partículas

A densidade das partículas é determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades (MENDES et al., 2006). Fazendo dela uma propriedade física bastante estável, pois depende exclusivamente da composição da fração sólida do solo, ou seja, da constituição mineralógica do perfil e conteúdo da matéria orgânica.

Pesquisas têm mostrado que a densidade de partículas será tanto menor quanto maior for o conteúdo da matéria orgânica no solo. Na maioria dos solos minerais, a densidade de partículas varia de 2,6 a 2,8 g cm⁻³, sendo esses valores consequência da predominância do quartzo cujo peso específico é de 2,65 g cm⁻³ (RIBEIRO, 2008).

Segundo Reichardt e Timm (2008) em se tratando de densidade do solo, essa está entre as propriedades físicas mais avaliadas, considerada um dos indicadores de qualidade do solo, além de fornecer indicações para avaliar outras propriedades do solo. De acordo com Libardi (2005), a palavra densidade refere-se à massa que o volume de um determinado corpo possui. Assim sendo o autor descreve densidade do solo como a razão entre a massa de sólidos e volume de sólidos (massa de sólidos juntamente com espaço poroso), diferindo da densidade de partículas do solo já que nesta o espaço poroso não é considerado.

3.5.4. Influência do tamanho das partículas na taxa de infiltração

Os tamanhos das partículas minerais de um solo determinam os poros ou espaço poroso do solo. Brouwer e Heibloem 1986, afirmam que a água infiltra mais facilmente através dos poros maiores de um solo arenoso que tem maior capacidade de infiltração do que, por exemplo, através de poros menores de um solo argiloso com menor capacidade de infiltração (Tabela 1).

Tabela 1. Taxas típicas de infiltração

Tipo de solo	Taxa de Infiltração (mm h⁻¹)
Areia	<30
Franco arenoso	20 – 30
Argila	10 – 20
Franco argiloso	5 – 10
Argiloso	1 – 5

Fonte: (BROUWER; HEIBLOEM, 1986).

Solos que possuem partículas maiores, textura mais arenosa, apresentam menor porosidade total, porém maior porcentagem de macroporos, enquanto que os solos que apresentam partículas menores, textura mais argilosa possuem uma maior porcentagem de microporos. No solo, o movimento do ar e da água ocorre através dos macroporos, pois nos microporos o movimento do ar é dificultado, e o da água fica restrito principalmente a capilaridade (HILLEL, 1980).

A umidade do solo é o principal fator que influencia o crescimento das plantas em ecossistemas secos (CORONATO; BERTILLER, 1996). A quantidade de umidade no solo é influenciada por muitos fatores incluindo a precipitação, evaporação, topografia, textura do solo e preparo do solo (BRADY; WEIL, 2008).

A captura eficiente da água da chuva pelo solo exige que a taxa de infiltração seja igual à Intensidade da chuva durante toda a intensidade de precipitação (VAN DUIVENBOODEW et al, 2000). O Ideal é que todas as precipitações em solos cultivados sejam capturadas para serem usadas pelas culturas ou capturadas in situ penetrando nas águas subterrâneas. Os eventos de alta magnitude, mas de baixa frequência, desempenham um papel importante na dinâmica da erosão, como foi apontado por vários autores (EDWARDS; OWENS, 1991; POESEN; BUNTE, 1996; LARSON et al., 1997).

O uso do solo pela aração das terras agrícolas produz compactação nos solos e influenciam na infiltração (HARTGE, 1988), através da diminuição da porosidade do solo, reduzindo a quantidade de poros maiores pelo mecanismo de compactação, através da expulsão parcial de fluidos permanentes, ar e água, diminuindo também a taxa de infiltração (HARTGE, 1988). A pecuária em pastagens tem efeito potencial na redução da infiltração em solos (TAKAR et al., 1990) devido a distúrbios na cobertura do solo. O salpico promove o adensamento superficial do solo e a selagem (WARREN et al., 1986); a pressão de pastejo remove arbustos, ervas e gramíneas e controla a entrada de matéria orgânica ao solo.

Além disso, as mudanças climáticas aumentam de forma esmagadora na exposição do solo nu com infiltrações mais baixas do que em solos com cobertura (BLACKBURN, 1984). A chuva frequentemente faz com que a superfície do solo fique enlameada e com encrostamento. A redução das crostas que se desenvolvem em solos cobertos de vegetação em regiões áridas e semiáridas que incentivam a desertificação requerem conhecimentos de física do solo. As crostas geralmente indicam que a quantidade de matéria orgânica no solo diminuiu e/ou ocorreu erosão. A

superfície exposta, a pancadas fortes e ocasionais chuvas quebram os agregados do solo e depois se transformam em uma massa particulada que permite a entrada de água no solo (ZHI; ZHONGSHAN, 1988).

Algumas pesquisas têm se concentrado principalmente nas características físicas do solo e também em como melhorar as limitações que impõem à infiltração, quer diretamente por selagem superficial ou crostragem ou indiretamente por baixa percolação subsuperficial. As superfícies com encrostamento e infiltração restrita são sempre problemas generalizados em áreas secas e podem limitar as oportunidades de cultivo (DUIVENBOODEW et.al. 2000).

3.6. Matéria orgânica do Solo (MOS)

A matéria orgânica desempenha papel importante na qualidade do solo para o crescimento das plantas. Isso se deve a sua influência direta e indireta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo (TORMENA et al., 2004). Ela abrange detritos de plantas frescos e seus produtos de decomposição (fontes primárias), resíduos de animais e microrganismos dos solos (fontes secundárias), matéria orgânica dissolvida, exudatos de raízes, substâncias húmicas, carbono negro, etc (ZECH et al., 1997).

Sua influência sobre as características do solo e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que esta seja considerada um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). Uma vez que favorece uma boa estrutura ao solo, melhorando assim a retenção de água, aeração, porosidade e densidade (MIELNICZUK, 2008).

De acordo com Calonego e Rosolem (2008) a agregação do solo é condicionada por substâncias agregantes, ou seja, por substâncias que possuem ação cimentante e aglutinadora, como a matéria orgânica, que é responsável pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes. Segundo Bertol et al. (2004), alguns fatores contribuem para o aporte contínuo de matéria orgânica no solo tais como a maior concentração de raízes nas camadas superficiais e a deposição superficial dos resíduos vegetais, aliado à ausência de revolvimento do solo.

Efetivamente a MOS pode aumentar ou reduzir a resistência do solo, dependendo do seu efeito conjunto sobre a densidade (ZHANG et al., 1997). Quando predominam os efeitos de redução da densidade por aumento da porosidade, a resistência à compressão diminui.

3.7. Determinação da capacidade de Infiltração do solo

Segundo Souza et al. (2013) os estudos de avaliação das taxas de infiltração da água em solos do semiárido nordestino em sua maioria estimam as propriedades hidráulicas do solo a partir da medida de fluxos de infiltração transitório ou estacionário

da infiltração tridimensional, que emanam de um disco (infiltrômetro a disco) ou de um cilindro que pode ser um infiltrômetro de anel simples ou de anéis concêntricos como no estudo tratado.

Este consiste de dois anéis que são posicionados de forma concêntrica no solo. Os anéis cujas bordas devem ser bizeladas, são cravados verticalmente no solo, deixando-se uma borda livre ligeiramente superior a 150 mm. O anel externo tem como finalidade reduzir o efeito de dispersão lateral da água infiltrada no anel interno. Assim, água do anel interno infiltra no perfil do solo em uma direção predominantemente vertical, o que evita superestimativa da taxa de infiltração (BRANDÃO et al. 2006).

O conceito de capacidade de infiltração é aplicado para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que ocorre quando há disponibilidade de água para penetrar no solo (BRANDÃO et al., 2006). Segundo Hillel (1980) capacidade de infiltração é a taxa de infiltração, em volume de água por unidade de área e de tempo, que poderia ocorrer caso um excesso de água fosse aplicado ao solo.

Durante os estudos de avaliação da taxa de infiltração, esta alcança uma determinada velocidade semelhante ao que ocorre no início da chuva ou irrigação, com tendência a diminuir gradativamente com o tempo, alcançando um valor mínimo e constante, passando a ser conhecida como velocidade básica de infiltração - VIB (REICHARDT, 1987).

Para obtenção da capacidade de infiltração, é recomendado o uso de anéis concêntricos para testes padrão de solos que apresentam uma condutividade hidráulica de $0,01 \text{ cm s}^{-1}$ ou podem ser usados para solos do tipo arenoso com altas taxas de infiltração (FEDLER et al., 2012).

3.7.1. Utilização de modelos na predição da infiltração

A água quando não infiltra no solo, pode escorrer provocando erosão, inundação, transporte de poluentes e degradação de sua qualidade. A previsão de inundações e erosões depende da taxa de infiltração da água no solo. Daí a importância de se quantificar essa infiltração e conhecer esse processo. A redução do escoamento superficial no solo e erosão pode estar relacionada com um aumento na capacidade de infiltração de água, enquanto que solos com alta resistência podem impedir o crescimento das raízes e reduzir a produtividade das culturas (BENGOUGH; MULLINS, 1990).

Segundo, Calheiros et al. (2009) a taxa de infiltração do solo é um parâmetro extremamente importante necessário para projetos de sistemas de irrigação eficiente,

importante também ao projetar sistemas de aplicação de superfície para a disposição de efluentes de águas residuais para qualquer sistema de tratamento local ou sistemas de tratamento de águas residuais municipais de grande escala, como observado por Silva et al (2017).

Muitos métodos para a determinação da infiltração de um solo estão disponíveis na literatura, para condições de campo e de laboratório, porém nenhum método é satisfatório para todas as condições. A escolha do método a ser utilizado depende de fatores como disponibilidade de suprimentos e equipamentos, recursos disponíveis entre outros (JOHNSON, 1991). Contudo, é fundamental que o método escolhido seja capaz de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para simular o processo de infiltração os modelos devem considerar diversas variáveis, entre os modelos empíricos mais utilizados estão os de Horton e o de Kostiaikov (Brandão et al., 2006).

3.8. Fatores que afetam a infiltração

A infiltração das águas pluviais constitui-se em elemento natural integrante do equilíbrio ambiental, visto sob a óptica da dinâmica da natureza. Se o escoamento superficial natural da água da chuva propicia a erosão geológica, a sua infiltração é, em grande parte, responsável pela alteração das rochas e formação dos solos, impondo certa condição de equilíbrio entre erosão e formação do solo. O fluxo natural tanto de superfície como de subsuperfície atuam no processo de formação dos solos, induzindo-lhes maior ou menor susceptibilidade à erosão (CARVALHO et al. 2012).

O escoamento superficial é inversamente proporcional a capacidade de infiltração do solo, ele é determinado pela água que excede a capacidade de infiltração no solo e flui pela superfície do mesmo. Segundo Zhidong et al. (1988) a determinação da fração de irrigação ou de água da chuva que penetra no solo afeta a quantidade de escoamento superficial e este último como destaca o autor pode promover a erosão do solo.

Contudo a taxa de água que penetra no solo depende da capacidade de infiltração, sendo a mesma controlada diretamente pelos fatores do solo, fazendo com que seu estudo seja de grande importância na compreensão e gerenciamento de processos hidrológicos, abastecimento de água, irrigação e erosão do solo (LIU et al., 2011).

Segundo Ries e Hirt (2008) os solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal ficam expostos a eventos de precipitação torrencial, e torna-se mais vulneráveis a ação de processos físicos e químicos que levam a modificações das condições da camada

superficial do solo. Em terras secas, como o semiárido a degradação do solo leva a diminuição das taxas de infiltração aumentando as taxas de escoamento superficial e erosão.

Desse modo, como destaca García-Ruiz (2010) em ambientes semiáridos, a preservação e/ou restauração da vegetação é de extrema importância, pois ajuda na conservação das características naturais do solo, produção de matéria orgânica, auxilia na manutenção da capacidade de infiltração do solo, e pode promover a redução do transporte de sedimentos. Florestas nativas, no caso a caatinga, mostram-se ainda mais efetivas no controle da erosão do solo e degradação do solo.

3.9. Influência da cobertura vegetal nos processos de infiltração

Para Brandt, 1989, a cobertura vegetal influencia nos processos de erosão, atuando na redução do volume de água que chega ao solo, através da interceptação, e alterando a distribuição do tamanho das gotas de chuva, afetando, com isso, a energia cinética da chuva (SILVA; SANTOS, 2009), sob chuva ou irrigação contínua, a taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido por taxa de infiltração básica ou velocidade de infiltração básica (ALVES SOBRINHO et al., 2003).

De acordo com Frota e Nappo (2012) modificações na cobertura vegetal podem provocar alterações no equilíbrio do ambiente, o que acelera os processos de erosão, além de ocasionar aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, entre outros eventos, esses fatores revelam a importância da manutenção da cobertura vegetal para o equilíbrio ambiental.

Para Ries e Hirt (2008) os solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal estão expostos a eventos de precipitação torrencial, vulneráveis para a ocorrência de processos físicos e químicos que alteram as condições da camada superficial. Quando a superfície é seca, uma camada mais dura é formada. Os solos assim são típicos destas regiões áridas, onde a degradação do solo leva a diminuição das taxas de infiltração aumentando as taxas de escoamento superficial e erosão.

Em ambientes semiáridos, a preservação e/ou restauração da vegetação é de extrema importância, uma vez que ela ajuda na conservação das características naturais do solo, produção de matéria orgânica, auxilia na manutenção da capacidade de infiltração do solo, e pode promover a redução do transporte de sedimentos. Sendo assim, florestas nativas como no caso da caatinga, mostram-se mais efetivas no controle da erosão e degradação do solo (GARCÍA-RUIZ, 2010).

Logo, um modelo de gestão da escassez de água deve prever a aplicação de conhecimentos necessários sobre a dinâmica dos ecossistemas das regiões áridas e das tecnologias apropriadas para captação, estocagem e conservação da quantidade e qualidade das águas precipitadas em anos de abundantes aportes pluviométricos, formando significativos estoques reguladores, protegidos da evaporação, para garantir disponibilidade hídrica segura, em anos de escassez de chuvas (SILVA; ANDRADE, 2003).

4. METODOLOGIA

4.1. Localização e Descrição da Área de Estudo

Os experimentos de campo foram conduzidos na fazenda Cedro, que possui 200 ha de área, próximo ao riacho Exu, que forma uma das microbacias pertencentes a bacia hidrográfica do Pajeú (Figura 1), com acesso pela PE- 414, na estrada que liga o município de Serra Talhada ao distrito de Bernardo Vieira, entre as coordenadas de latitude 7°58'58.55" sul e longitude de 38°25'51,36" oeste, limitando geograficamente, ao norte, com o Estado da Paraíba, ao sul, com o município de Floresta, ao leste com os municípios de Calumbi, Betânia e Santa Cruz da Baixa Verde e, na parte oeste, com os municípios de São José do Belmonte, Mirandiba e Carnaubeira. De acordo com a classificação de Köppen, o clima dessa região enquadra-se no tipo Bwh, denominado semiárido, uma imagem da área de estudo pode ser observada na figura 2.

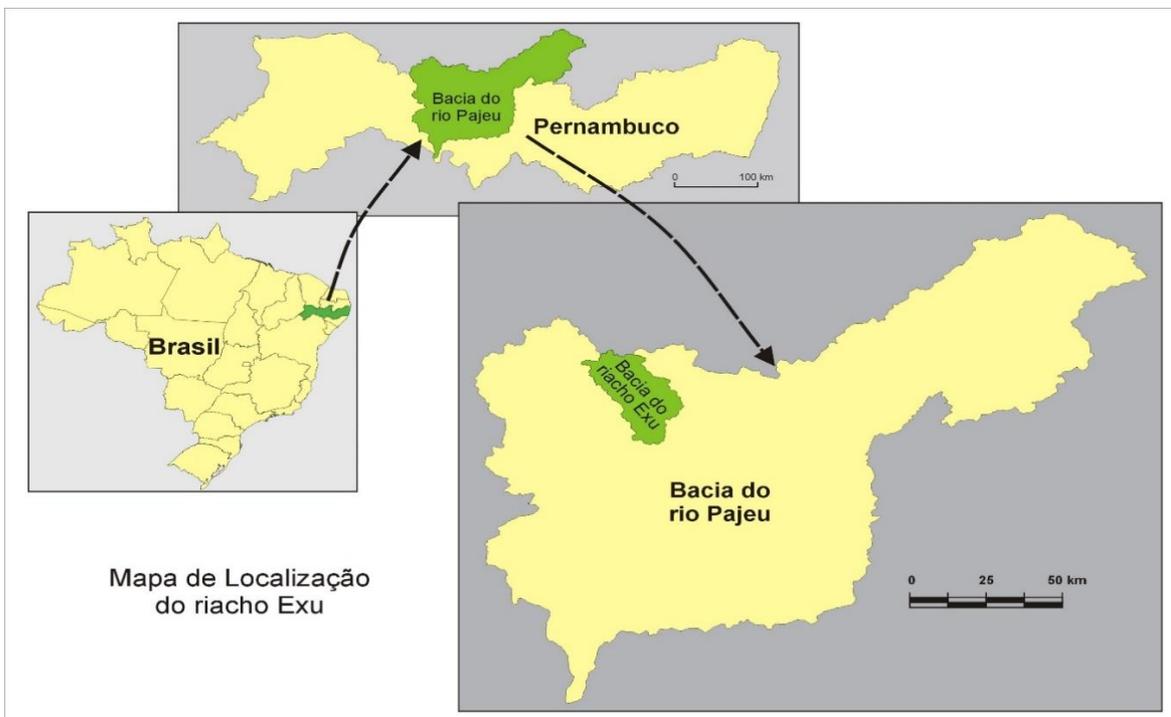


Figura 1. Localização da área de estudo Bacia Hidrográfica do Riacho Exu, Serra Talhada – PE



Figura 2. Imagem da área de estudo localizada próxima a PE-414

Na propriedade foram conduzidos os experimentos em três condições de cobertura do solo, Solo descoberto de vegetação, tratamento 1; solo coberto por serapilheira, tratamento 2; e solo coberto por vegetação nativa (caatinga semi-arbustiva), tratamento 3 (Figura 3).



Figura 3. Vista dos locais do experimento: T1 solo descoberto; T2 área coberta por serapilheira; T3 área de caatinga

O tratamento 1, onde o solo não tem cobertura vegetal sofre intenso tráfego de animais, localizado na área mais próxima ao riacho onde os animais fazem a dessedentação. Já na área coberta com serapilheira, verificou-se a presença predominante de Algaroba *Prosopis juliflora* (Sw) DC., espécie exótica invasora muito utilizada na caatinga como madeira produtora de lenha, forragem entre outros usos.

Na área coberto por caatinga semi-arbustiva, foi verificado a presença de espécies nativas como Jurema Preta, *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poir.; Canafístula, *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub.; Anjico, *Anadenanthera colubina* (Vell) Brenan.; Juazeiro, *Ziziphus joazeiro* Mart.; Marmeleiro, *Croton blanchetianus* Baill.; Mandacaru, *Cereus jamacaru* DC.; Quipá, *Tacinga quipa* (F. A. C. Weber) N. P. Taylor & Stuppy.; Catingueira, *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz.; Aroeira, *Myracrodunon urundeuva* (Allemão); Pata-de-vaca *Bauhinia cheilantha* (Bong) Steud.

4.2. Classes de solo nas áreas experimentais

A classificação dos solos nas três áreas estudadas se deu até o segundo nível categórico do sistema brasileiro de classificação dos solos. Nas áreas experimentais de solo descoberto, tratamento 1, área coberta por serrapilheira, tratamento 2, e área coberta por caatinga, tratamento 3, os solos foram classificados como Neossolos Flúvicos. Os perfis representativos dos solos das áreas estudadas podem ser observados na figura 4.

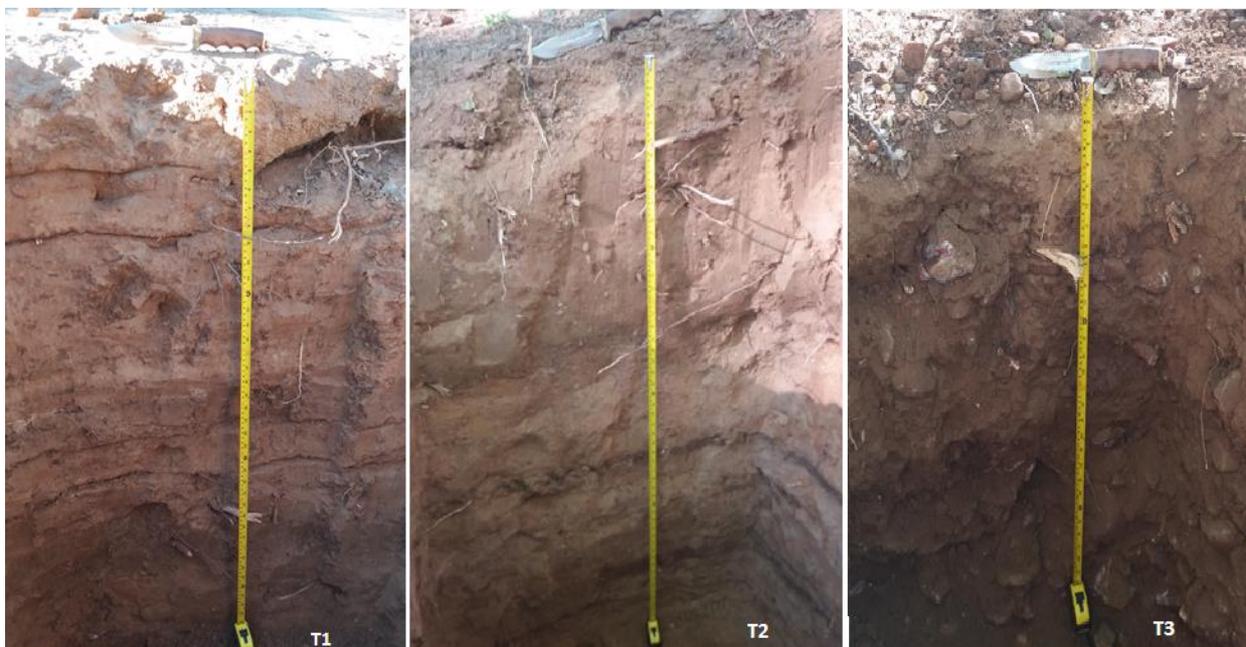


Figura 4. Perfis, T1 solo descoberto; T2 área coberta por serapilheira; T3 área de caatinga, usados para classificação dos solos

4.3. Condições climáticas

Do ponto de vista climático, Assis et al. (2013), explicam como o Sertão de Pernambuco é caracterizado pela grande anormalidade das precipitações pluviométricas, através das frentes frias, nos vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS) e na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são originados as precipitações pluviométricas, que caracteriza a quadra chuvosa de janeiro a abril e os meses de maior estiagem de julho a outubro, como observado no índice pluviométrico mensal dos anos de 2016 e 2017 (Figura 5). Diante dessas condições foram selecionados os meses de março e setembro de 2017 para condução dos experimentos de campo relativos ao tempo chuvoso e tempo seco respectivamente.

A Bacia Hidrográfica do Exu, particularmente apresenta um padrão hidrológico caracterizado por uma alta variabilidade, com chuvas concentradas em breves intervalos de tempo (12 mm min^{-1}) com eventos recorrentes de longa variação temporal com consequente ocorrência de picos de escoamento superficial, seguidos por uma recessão de forma exponencial, como descrito por Cantalice et al. (2013).

Em conformidade com essa situação, os valores anuais da precipitação dos últimos 30 anos (APAC, 2017) para o município de Serra Talhada variaram muito como pode ser visto na Figura 6, verificando-se quantidades de precipitação abaixo da média histórica para os últimos 3 anos.

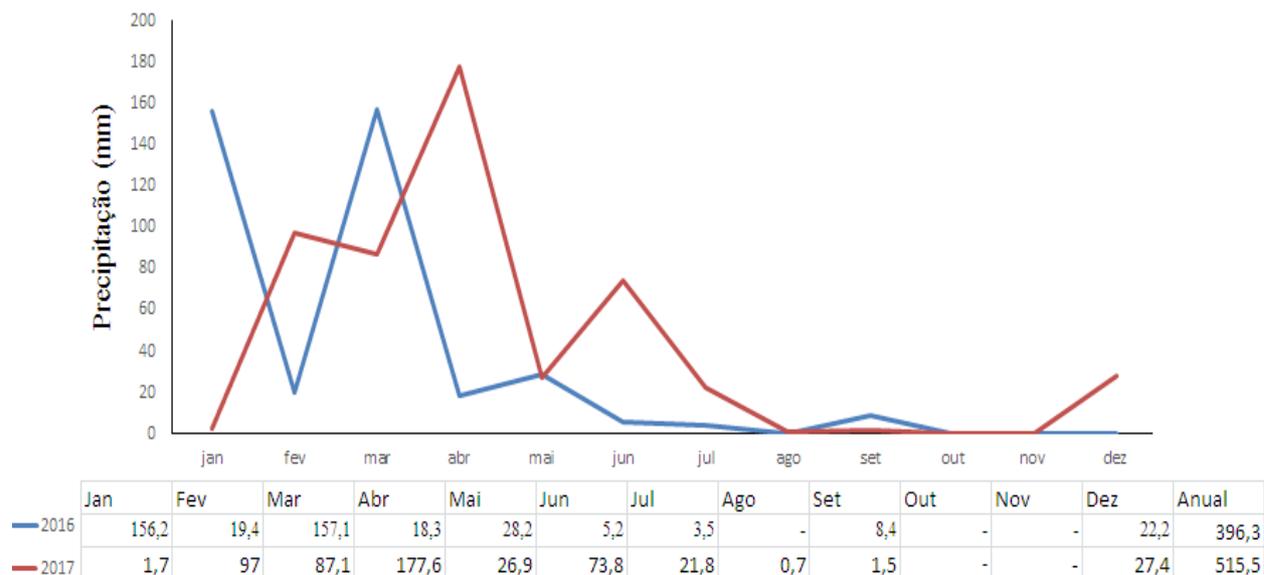


Figura 5. Precipitações pluviométricas mensais (mm) dos anos de 2016 e 2017 no município de Serra Talhada-PE. Fonte de Dados: APAC, 2017

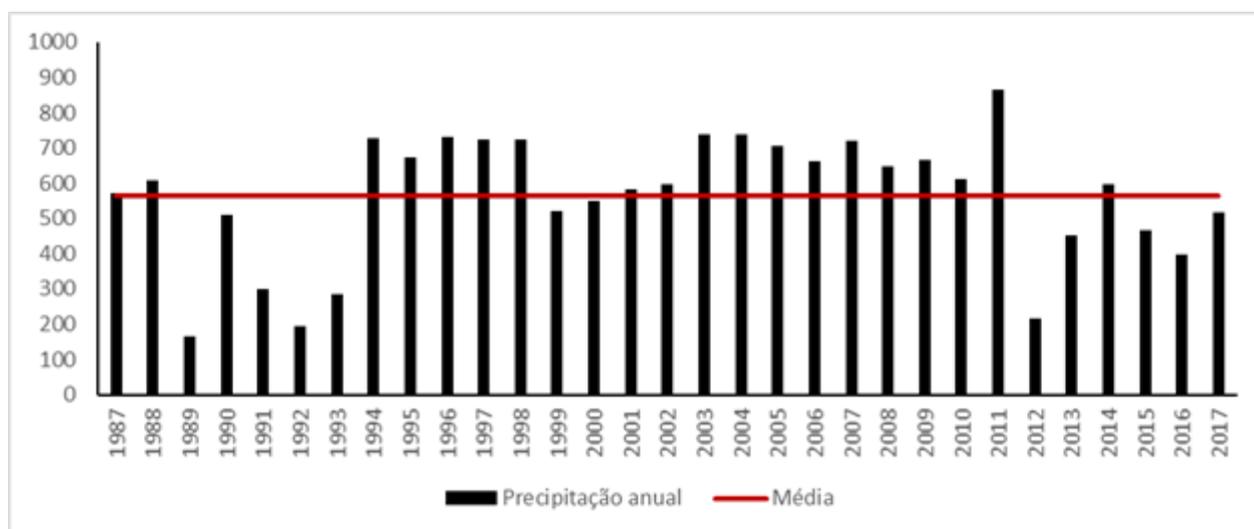


Figura 6. Distribuição das precipitações pluviométricas anuais (mm) para o período de 1986-2016 no município de Serra Talhada-PE. Fonte de Dados: APAC, 2017

4.4. Características de parâmetros físico- hídricas da bacia hidrográfica semiárida do Exu

Foram elaborados mapas a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) SC.24-X-A com resolução espacial recalculada para 30 metros, para caracterização e determinação dos parâmetros físico-hídricos do Riacho Exu, utilizando software ArcGIS 9.1 com Projeção UTM, Datum WGS-1984 (zone 24S).

A descrição geomorfológica da bacia foi baseada e descrita em função da sua área que corresponde a todo o conjunto do sistema de drenagem fluvial, disposto em plano horizontal e o perímetro da bacia, que corresponde a uma representação do contorno da linha imaginária ao longo do divisor de águas.

4.4.1. Rede de drenagem e ordem dos canais da Bacia Hidrográfica semiárida do riacho Exu.

A rede de drenagem foi obtida por procedimentos automatizados por meio do aplicativo Hydrology (Figura 7).

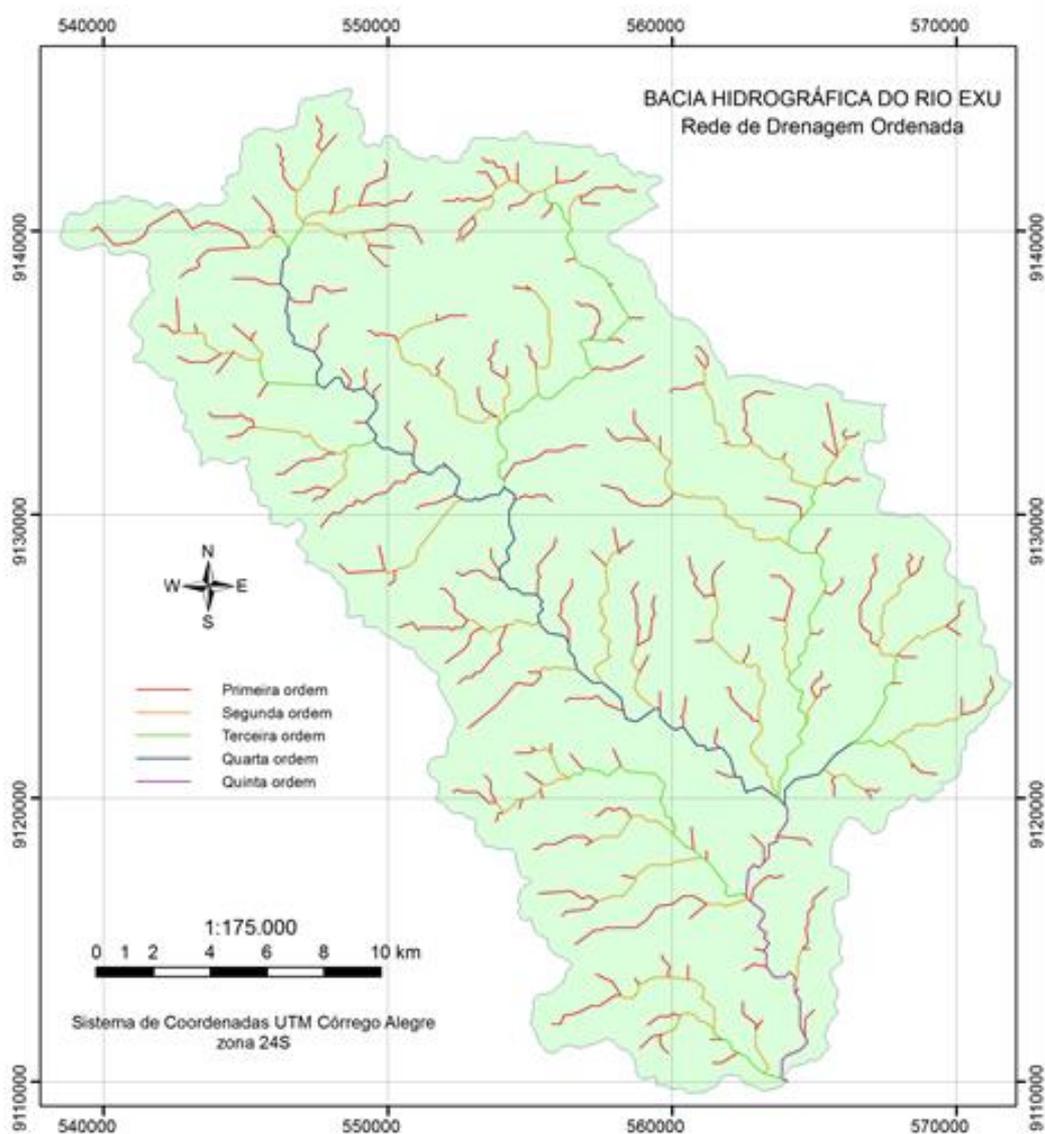


Figura 7. Rede de drenagem mostrando a ordem dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica Semiárida do Riacho Exu, Serra Talhada – PE.

As classes de declividade (Figura 8) foram geradas automaticamente através do processamento das imagens SRTM utilizando o aplicativo ArcGIS Spatial Analyst 9.1.

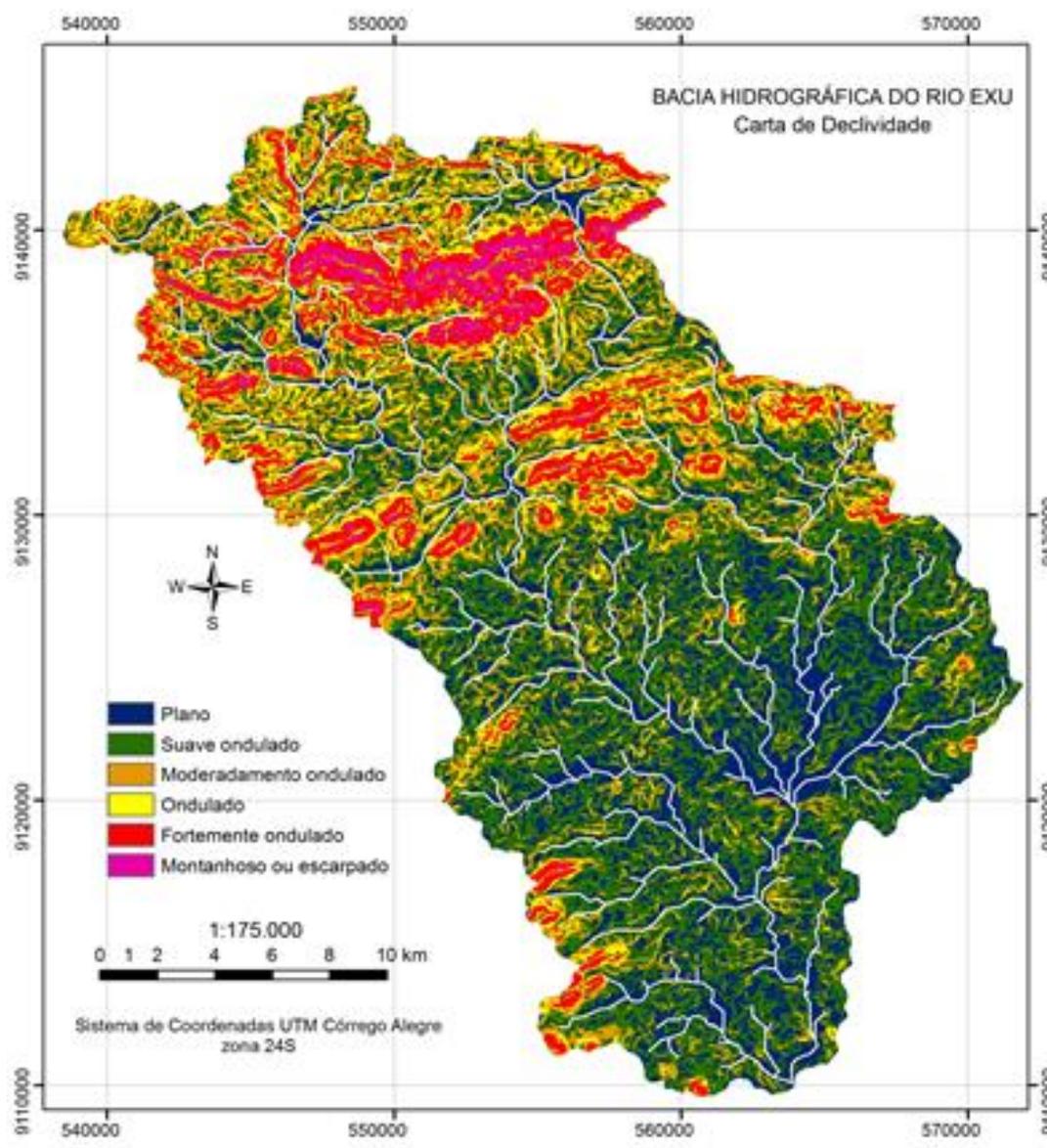


Figura 8. Carta de declividade da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu, Serra Talhada – PE.

As declividades foram separadas em seis intervalos distintos, conforme sugeridos pela Embrapa (1979), como mostra na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da declividade da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu

Declividade	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
>75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

4.4.2. Caracterização da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu

Os parâmetros físico-hídricos e morfométricos da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Parâmetros físico-hídricos e morfométricos da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE

Parâmetros	Valor
Área	579,40 km ²
Perímetro	138,89 km
Comprimento do eixo da bacia	38,45 km
Fator forma	0,3876
Comprimento do canal principal	58,09 km
Comprimento do canal principal rebatido	38,71 km
Número de canais da bacia	350 canais
Número de canais de 1ª ordem	176 canais
Número de canais de 2ª ordem	40 canais
Número de canais de 3ª ordem	10 canais
Número de canais de 4ª ordem	2 canais
Número de canais de 5ª ordem	1 canal
Comprimento total dos canais	443,55 km
Comprimento médio dos canais	1,27 km
Densidade de drenagem	0,77 km km ⁻²
Densidade hidrológica	0,61 canais km ⁻²
Coeficiente de compacidade	1,62
Maior altitude da bacia	1006 m
Menor altitude da bacia	400 m
Amplitude altimétrica da bacia	606 m
Declividade do canal principal	15,65 m km ⁻¹
Índice de sinuosidade	1,50
Tempo de concentração	7,08 h

Fonte: SANTOS (2013).

4.4.3. Vegetação e uso do solo da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu

O mapa de vegetação e uso do solo da Bacia Hidrográfica semiárida do Riacho Exu (Figura 9) foi elaborado a partir de uma fotointerpretação de uma composição colorida falsa cor de imagens LANSAT-TM, tornando possível detectar as extensões

correspondentes a solos descobertos, cultura de subsistência, caatinga semi-arbustiva e caatinga arbustiva (Tabela 4).

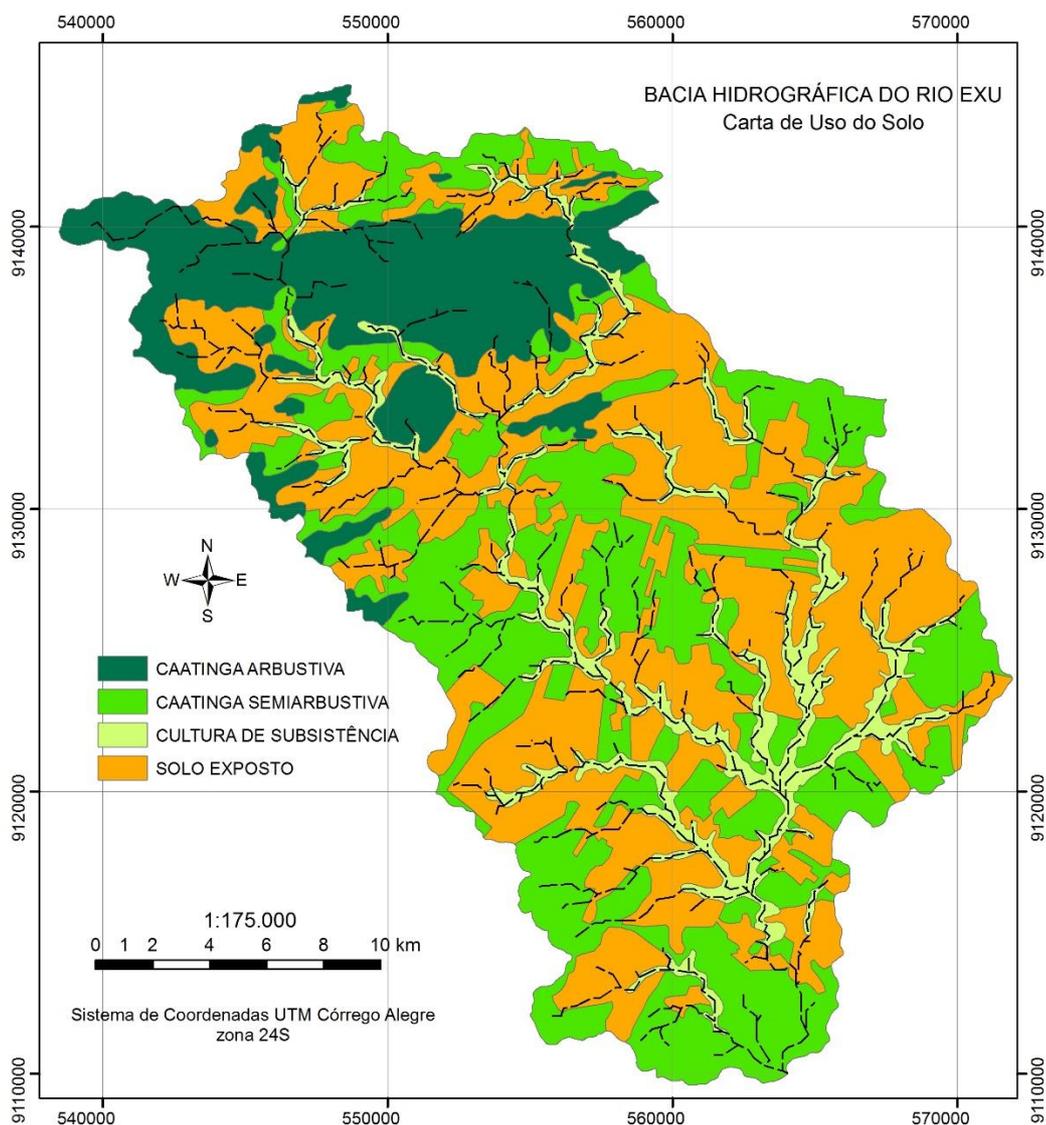


Figura 9. Carta de vegetação e uso da Bacia Hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE

A tabela 4, mostra a distribuição do uso do solo da bacia, distribuída em 5 classes de uso do solo.

Tabela 3. Distribuição de uso do solo da Bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, Serra Talhada - PE

Uso do solo	Área (km ²)	%
Solo descoberto	10,22	1,76
Solo preparado	222,88	38,47
Cultura de subsistência	55,70	9,61
Caatinga semi-arbustiva	187,17	34,03
Caatinga arbustiva	93,40	16,12
Total	579,40	100,00

4.5. Coleta de amostras para a caracterização física do solo

Para coleta das amostras foram determinados três subáreas em função das coberturas do solo: solo descoberto, solo coberto com serapilheira e solo com coberto por caatinga semi arbustiva. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades 0-10, 10-30 e 30-60 cm através de mini trincheiras, objetivando a caracterização física do solo e quantificação da matéria orgânica.

As amostras coletas em campo na forma de agregados foram envoltas em papel filme e plástico bolha, etiquetadas, condicionadas e transportadas ao Laboratório de Física do solo para análise de atributos. Parte das amostras foi fracionada em partes menores para que passassem na peneira de malha de 25 mm, sendo retidos na peneira de 20,0 mm, obtendo-se assim agregados com dimensão média de 22,5 mm de diâmetro. A seguir foram colocados na estufa de circulação a 45°C por 72 hs, para padronização da umidade, e posterior aplicação dos tratamentos e ensaios de resistência tênsil (RT). Uma segunda parte das amostras foi reservada para a análise da Densidade do Solo (Ds) pelo método do torrão parafinado, metodologia empregada por se adaptar melhor aos solos pedregosos ou muito secos, que limitam o uso de cilindros na coleta das amostras.

Os agregados com diâmetros menores que os utilizados para RT foram passados em um novo conjunto de peneiras, com malha de 7,1 mm e 3,35 mm, para aplicação dos tratamentos e ensaios de estabilidade de agregados. As amostras em TFSA foram obtidas a partir de destorroamento, sendo as mesmas homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm. A TFSA foi utilizada na análise granulométrica do solo, Densidade da Partícula (Dp) e quantificação da Matéria Orgânica do solo (MO).

4.6. Caracterização física do solo

As análises para caracterização física do solo foram realizadas no laboratório de física do solo da UFRPE. Durante a análise granulométrica foram utilizados na separação das frações granulométricas dos solos 50g de TFSA utilizando-se o Calgon, uma combinação de hidróxido de sódio (NaOH) e hexametáfosfato de sódio (NaPO₃) à 0,1 mol L⁻¹ como dispersante, na proporção 1:1,25. A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método do densímetro (Figura 10) proposto por Gee e Or (2002), adaptado por Almeida (2008), realizando-se apenas uma leitura, após dispersão da

argila e 24h de repouso da agitação manual. Os resultados verificados podem ser observados na tabela 5.



Figura 10. Análise granulométrica pelo método do densímetro

Tabela 4. Quantificação da análise granulométrica e caracterização física do solo nos três tratamentos

Profundidade cm	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	----- g kg ⁻¹ -----			
Tratamento 1: Solo Descoberto				
0 – 10	589,50	258,50	152,00	Franco arenoso
10 – 30	567,00	257,50	175,50	Franco arenoso
30 – 60	523,50	249,50	227,00	Franco argilo arenoso
Tratamento 2: Área com serapilheira				
0 – 10	508,50	293,50	198,00	Franco arenoso
10 – 30	507,30	300,20	192,50	Franco arenoso
30 – 60	558,80	254,80	186,40	Franco arenoso
Tratamento 3: Área de caatinga				
0 – 10	695,00	158,20	146,80	Franco arenoso
10 – 30	693,70	155,80	150,50	Franco arenoso
30 – 60	716,80	141,80	144,40	Franco arenoso

Assim também, foram determinadas as quantidades de argila dispersa em água (ADA), sendo calculados os índices de floculação (IF) e dispersão (ID), a partir da relação entre os teores de argila total e argila dispersa em água. Além do fracionamento da areia de acordo com os diâmetros descritos pela EMBRAPA (2017).

Tabela 5. Separação das frações de areia e índices de floculação e dispersão de argila para os três tratamentos

Profundidade cm	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA	IF	ID
	----- g kg ⁻¹ -----					-- g kg ⁻¹ --		
Tratamento 1: Solo Descoberto								
0 – 10	13,55	24,75	50,14	284,72	216,34	16,32	0,50	0,50
10 – 30	7,71	37,13	45,49	260,08	216,59	20,50	0,50	0,50
30 – 60	11,51	24,86	56,03	215,94	215,16	26,78	0,39	0,61
Tratamento 2: Área com serapilheira								
0 - 10	7,12	17,39	61,02	193,23	229,74	22,66	0,45	0,55
10 – 30	5,32	14,20	61,05	204,69	221,44	24,72	0,42	0,58
30 – 60	3,07	14,69	95,13	267,94	177,97	24,43	0,42	0,58
Tratamento 3: Área de caatinga								
0 – 10	71,09	121,44	151,85	224,34	126,28	12,12	0,50	0,50
10 – 30	69,38	134,58	164,41	204,08	121,25	14,14	0,57	0,43
30 - 60	62,72	155,69	187,80	198,34	112,25	12,24	0,50	0,50

AMG: Areia muito grossa; AG: Areia grossa; AM: Areia média; AF: Areia fina; AMF: Areia muito fina; ADA: Argila dispersa em água. IF = Índice de Floculação ; ID =Índice de Dispersão.

A densidade de partículas (Dp) foi realizada pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool como líquido penetrante de acordo com FLINT e FLINT, 2002. A densidade do solo (Ds) foi obtida pelo método do torrão parafinado (EMBRAPA, 2017). Os valores médios de DP e DS, classe textural e porosidade total são mostrados na tabela 7. A porosidade total foi calculada pela seguinte expressão matemática:

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

Tabela 6. Densidade de partículas, Densidade do solo e Porosidade Total nas profundidades e tratamentos estudados

Profundidade cm	Dp	Ds	Pt	Classe Textural
	----- gcm ⁻³ -----		%	
Tratamento 1: Solo Descoberto				
0 – 10	2,72	1,66	38,97	Franco arenoso
10 – 30	2,74	1,64	40,14	Franco arenoso
30 – 60	2,70	1,64	39,25	Franco argilo arenoso
Tratamento 2: Área com serapilheira				
0 – 10	2,65	1,38	47,92	Franco arenoso
10 – 30	2,70	1,46	45,92	Franco arenoso
30 – 60	2,74	1,50	45,25	Franco arenoso
Tratamento 3: Área de caatinga				
0 – 10	2,76	1,54	44,20	Franco arenoso
10 – 30	2,72	1,54	43,38	Franco arenoso
30 – 60	2,79	1,57	44,12	Franco arenoso

Ds = Densidade do Solo; Dp= Densidade das partículas; Pt (%) = Porosidade Total.

4.6.1 Resistência Tênsil dos agregados (RT)

A resistência tênsil dos agregados (RT) foi obtida com auxílio de um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma tensão constante a uma taxa de 4 mm min⁻¹ até a ruptura dos agregados (Figura 12). O motor de propulsão, acoplado a célula de carga, conectada a uma chapa plana (disco com 2 cm de diâmetro por 1 cm de espessura), promove a ruptura tênsil, com a formação de uma fenda no agregado. Um sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao agregado, necessária para sua ruptura.



Figura 11. Análise de Resistência Tênsil em Penetrômetro

Sabendo-se da influência da umidade nos resultados da RT, os agregados antes da realização dos ensaios de resistência foram mantidos sob mesmas condições, controlando-se temperatura e umidade do ar. Após a execução dos ensaios de ruptura, os agregados foram pesados e colocados em estufa (105°C, 24h), para calcular o conteúdo de água no momento do ensaio. A RT dos agregados foi calculada por meio da equação (3), como proposto em Dexter e Kroesbergen (1985).

$$RT = 0,576 \left(\frac{F_{m\acute{a}x}}{De^2} \right) \quad (3)$$

Sendo: RT = resistência tênsil dos agregados (kPa); 0,576 =o valor da constante de proporcionalidade da relação entre a força compressiva aplicada e a resistência tênsil gerada no interior do agregado; F_{máx}= a força máxima aplicada no ponto de fratura do agregado (N); De= o diâmetro efetivo de cada agregado (m).

Considerando que a densidade dos agregados dos solos é constante, o cálculo do diâmetro efetivo (D_e) foi realizado pela equação (4), proposta em Watts e Dexter (1998).

$$D_e = D_m \left(\frac{M}{M_o} \right)^{0,3333} \quad (4)$$

Sendo: D_m = diâmetro médio dos agregados (mm), calculado pela média entre os valores das aberturas das malhas das peneiras utilizadas na separação dos agregados (25,0 e 20,0 mm); M = massa individual do agregado seco ao ar (g) e M_o = massa média dos agregados (g).

4.6.2. Estabilidade de Agregados

A estabilidade de agregados foi medida pelo método de peneiramento por via úmida em aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder, proposto por Kemper & Rosenau (1986), com modificações. O aparelho utilizado é composto por três recipientes cilíndrico, inserindo-se um conjunto de cinco jogos de peneiras em cada recipiente (2,00 - 1,00 - 0,5 - 0,25 - 0,125 mm). Foram utilizados agregados com diâmetro médio de 5,22mm (passados em peneira de 7,1 mm de malha e retidos na de 3,35 mm). Separam-se quatro subamostras de 25 g desses agregados, sendo três utilizadas no peneiramento por via úmida, e uma para determinação do fator de correção de umidade (fator "F"), corrigindo-se os pesos dos agregados secos ao ar para secos em estufa.

Para o peneiramento via úmida, as três subamostras dos agregados foram colocadas em papel filtro e saturadas por capilaridade, durante 10 minutos, evitando-se assim o aprisionamento do ar dentro dos agregados. Depois da saturação as subamostras foram transferidas para o conjunto de peneiras, sendo depositadas cuidadosamente na peneira superior, com 2,0 mm de malha. As subamostras ficaram submetidas ao peneiramento via úmida no aparelho com oscilações verticais por um período de 15 min.

Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos através de jatos de água com auxílio de uma pisseta para latas de alumínio, sendo esse material seco em estufa (105°C, por 24 h) e pesados, para determinação dos agregados estáveis em cada classe.

Quantificou-se os agregados retidos em cada peneira, além daqueles que passaram através da última (< 0,125 mm), obtendo assim seis classes de diâmetro médios: 3,38 - 1,5 - 0,75 - 0,375 - 0,1875 e 0,063 mm.

Os pesos obtidos foram usados nas equações (5), (6), (7) e para os cálculos do DMP, DMG, IEA e, respectivamente.

$$\sum_{i=1}^n (xi = wi) \quad (5)$$

Sendo: DMP = diâmetro médio ponderado (mm); xi = diâmetro médio das classes (mm); wi= proporção de cada classe em relação ao total.

$$\text{DMG} = \text{Exp} \frac{\sum_{i=1}^N \log xi}{\sum_{i=1}^N wp} \quad (6)$$

Sendo: DMG = diâmetro médio geométrico (mm); wp = peso dos agregados de cada classe (g)

$$\text{IEA} = \left(\frac{\text{Peso amostra seca} - wp_{0,125}}{\text{Peso da amostra seca}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Sendo: IEA= índice de estabilidade de agregados (%); wp 0,125 = peso dos agregados da classe < 0,125 mm.

4.7. Quantificação de Matéria Orgânica

Para quantificação de matéria orgânica do solo foram realizadas análises no Laboratório de Geoquímica e Tecnologia Ambiental (LGTA) da UFRPE. O teor de Matéria Orgânica contida no solo foi obtido pelo método da Mufla, conforme metodologia realizada por Pereira (2006), para o qual foram utilizadas sub amostras de solo, passadas em peneira de 2mm, as quais foram submetidas a secagem prévia em estufa a 105 °C por um período de 24 h, visando eliminar toda forma de água presente na amostra. A seguir pesaram-se 4g de solo que foram colocados em cadinhos de porcelana e acondicionados no forno tipo mufla (Figura 11) devendo atingir 600 °C de temperatura, por 6 horas seguidas para que haja a queima da matéria orgânica contida no solo.



Figura 12. Equipamentos de Laboratório utilizados na pesagem e queima em mufla das amostras de solo na quantificação da matéria orgânica

Posteriormente, as amostras foram conduzidas ao dessecador até esfriarem e serem pesadas em balança de precisão. Os dados foram registrados em planilhas para posterior obtenção dos cálculos da quantificação da matéria orgânica presente nas amostras.

O cálculo do teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa incinerada, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 °C a 600 °C (Tabela 8) conforme a fórmula:

$$MO (\%) = (P - (T - C) \times 100) / P \quad (2)$$

Sendo: P = peso da amostra (g) depois de aquecida a 105 °C;

C = tara do cadinho (g);

T = peso do material incinerado + cadinho (g)

Tabela 7. Quantificação da Matéria Orgânica do Solo (MOS) para os três tratamentos

Profundidade (cm)	TRATAMENTOS					
	----- 1 -----		----- 2 -----		----- 3 -----	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
0 – 10	1,1	27,5	0,3	7,5	0,3	7,5
10 – 30	0,1	2,5	0,2	5,0	0,2	5,0

Tratamento 1: Solo descoberto; Tratamento 2: Solo com serapilheira; Tratamento 3: Solo com caatinga.

4.8. Determinação da Capacidade de Infiltração com anéis concêntricos

Para determinação da capacidade de infiltração foram utilizados anéis concêntricos de aço constituídos de um cilindro externo com 40 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura e um cilindro interno com 20 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura. Os mesmos foram cravados no solo de forma uniforme, com batidas nas bordas

dos mesmos começando com o cilindro externo, depois cravando o cilindro interno (Figura 13).



Figura 13. Instalação de cilindros concêntricos e registros de dados

O uso de dois cilindros é necessário para que apenas a água do anel externo tenha um movimento tanto na direção vertical como na horizontal, funcionando como bordadura, assegurando que a água colocada no cilindro interno (onde serão feitas as medições) infiltre predominantemente na direção vertical.

As observações continuaram até que a taxa de infiltração com o tempo apresentasse valores muito próximos durante leituras sucessivas para obtenção da velocidade de infiltração básica (VIB) ou taxa de infiltração constante.

O experimento foi montado utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso com três tratamentos e nove repetições por tratamento. O desempenho dos modelos de infiltração de água no solo foi avaliado comparando-se a taxa de infiltração estimada pelos modelos de Kostiakov e Horton com a observada pelos ensaios em campo.

4.8.1. Aplicação dos Modelos de Horton e Kostiakov

Com os resultados da lâmina de água acumulada no solo (I), foi aplicada a equação de Kostiakov, equação (8).

$$I = Kt^\alpha \quad (8)$$

Sendo: I = infiltração acumulada (cm); t = intervalo de tempo (min); K e α = constantes empíricas.

Como o método da regressão linear só pode ser aplicado para equações lineares, inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, deveser transformada em uma equação linear. Para isso, aplica-se as operações logarítmicas correspondentes à equação de infiltração:

$$\log I = \log K + \alpha \log T \quad (9)$$

Esta equação corresponde à equação da reta do tipo $Y = A + B X$, em que: $Y = \log I$; $A = \log K$; $B = \alpha$; $X = \log T$. No método da regressão linear, os valores de A e B são determinados pelas seguintes expressões:

$$B = \frac{\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{N}}{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}} \quad (10)$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X} \quad (11)$$

Assim, para se chegar a equação da velocidade instantânea de infiltração deriva-se a equação de infiltração em função do tempo (12):

$$VI = \frac{dI}{dT} = \alpha K T^{\alpha-1} \quad (12)$$

Já Horton em 1940 verificou que a variação da taxa de infiltração em relação ao tempo $\left(\frac{dI}{dT}\right)$ é proporcional à diferença entre a taxa de infiltração instantânea e a taxa de infiltração estável. Desenvolvendo a equação empírica para taxa de infiltração como:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (13)$$

Sendo taxa de decaimento k pode ser estimada por:

$$k = (f_0 - f_c) / F_c \quad (14)$$

Sendo: f_t = Taxa de infiltração no tempo (mm/min); f_0 = Taxa de infiltração mínima (mm/min); f_c = Taxa de infiltração inicial (mm/min); k = constante exponencial; t = tempo médio do intervalo (min).

4.9. Estatística descritiva aplicada aos dados da pesquisa

Foram utilizados o coeficiente de eficiência (E') adaptado por Legates e McCabe Jr (1999), a raiz quadrada do erro médio (RQEM), erro máximo absoluto (EMA) e o coeficiente de determinação (R^2) aplicados as equações de Horton e

Kostiakov nas três condições de cobertura tanto no período seco quanto no período chuvoso. Esses índices têm suas equações explícitas como:

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|} \quad (10)$$

$$RQEM = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(P_i - O_i)^2}{N}} \quad (11)$$

$$EMA = \max\{|P_i - O_i|\}_{i=1}^N \quad (12)$$

Sendo: O_i = valores observados; P_i = valores estimados; N = números de observações; \bar{O} = média aritmética das observações; \bar{P} = média aritmética dos valores estimados.

O índice E , representa a razão entre o erro quadrado médio da estimativa e a variância dos dados observados, subtraída da unidade, e varia de $-\infty$ a 1.

Este índice reflete a proximidade entre os valores observados e estimados, sendo assim uma medida da acurácia de modelos, como verificado por Oliveira (2015). Valores de E iguais ou acima de zero indicam que a média dos valores preditos pelo modelo é uma estimativa tão boa quanto os medidos, e valores inferiores a zero indicam que o modelo não apresentou uma boa estimativa em relação aos dados observados.

O índice R^2 indica quanto da variância dos dados observados é explicada pelo modelo (LEGATES; MCCABE Jr, 1999) e representa uma medida de precisão de modelos. A análise conjunta de E e R^2 representa uma forma concisa de avaliação de desempenho de modelos. Os coeficientes RQEM e EMA fornecem uma análise de erro em termos absoluto de cada modelo.

Sobre os resultados de análises físicas dos solos, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características da bacia hidrográfica semiárida do Exu

De acordo com Lima, Ferraz e Ferraz (2013), a bacia hidrográfica atua como uma unidade sistêmica da paisagem e como escala natural dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico, na qualidade da água, no regime de vazão e na saúde do ecossistema. É nas escalas das microbacias hidrográficas, como a bacia hidrográfica do Exu, que ocorrem os maiores impactos relacionados às práticas de manejo, como desmatamentos, incêndios, confinamento de gado em áreas ripárias, desvio de água para irrigação e etc.

Segundo RIZZARDI et al. (2014) ações antrópicas como estas, têm alterado o fluxo de água em bacias hidrográficas ocasionando variações na taxa de infiltração de água no solo alterando o fluxo de água nas bacias hidrográficas. Causando uma maior frequência de períodos de secas e enchentes. Estas ações antrópicas ocorrem principalmente na escala das propriedades rurais, onde estão as micro bacias hidrográficas. Logo, estas áreas devem ser foco de estudos que visem práticas de manejo sustentável dos recursos hídricos, pois elas são as fontes dos grandes sistemas fluviais.

A bacia hidrográfica do Exu possui valor de densidade de drenagem de $0,77 \text{ km km}^{-2}$ (Tabela 3), considerada mediana quanto a qualidade da de drenagem. Cantalice et al. (2013) descreveram que na bacia do Exu pratica-se a agricultura de sequeiro, com o cultivo de espécies típicas, como feijão e milho, onde se emprega baixo nível tecnológico. Não são utilizadas práticas de correção do solo, adubação e controle fitossanitário. O preparo do solo é realizado por meio das queimadas e destoca de todo tipo de vegetação, inclusive da caatinga.

Também se utiliza da pecuária extensiva com caprinos, ovinos e bovinos, atividades típicas do semiárido brasileiro. Contudo, a bacia ainda possui grandes áreas de vegetação nativa preservada, como mostra a tabela 4, quando somados os percentuais de caatinga semi-arbustiva e arbustiva contam com 50,15% da área total da bacia.

5.2. Características do solo e sua influência na infiltração

A granulometria embora pouco sujeita às alterações causadas pela cobertura do solo, fornece conhecimento das proporções de partículas por tamanho sendo indispensável para entendimento da natureza e do comportamento físico-hídrico do solo, pois influencia de forma expressiva as propriedades do solo que mudam facilmente com sua utilização (GUIMARRÃES et al., 2014).

Por se tratarem de Neossolos Flúvicos as granulometrias são bastante diversificadas, ao longo do perfil do solo, devido a diversidade e a formas de deposição do material originário. As análises em laboratório da composição textural apontaram para predominância da textura franca arenosa (Tabela 5). Conseqüentemente, no solo franco arenoso existem uma predominância de partículas de areia, solos mais arenosos tem maior macroporosidade, os macroporos se formam entre os agregados e são importantes por favorecer a infiltração de água, permitindo a drenagem, influenciando na aeração do solo e nas trocas gasosas (PREVEDELLO, 1996).

No tratamentos 1 e 2 houve predominância das frações finas e muito finas de areia, já o solo no tratamento 3 apresentou além de uma grande concentração das partículas mais grosseiras de areia que os outros dois tratamentos, diferiu também por apresentar as maiores proporções de areia, entre as frações média e fina (Tabela 6). Essa maior concentração de areia na composição do solo reflete nos valores obtidos na densidade de partículas, variando entre 2,65 a 2,79 g cm⁻³.

A densidade do solo analisada nos tratamentos 1,2 e 3 apresentaram valores característicos de solos arenosos, variando de 1,38 a 1,66 g cm⁻³ (Tabela 7). As maiores densidades e os menores percentuais de porosidade total atribuído ao intenso tráfego de animais nessa área, foram encontradas no tratamento 1, solo descoberto, que somado a falta de cobertura vegetal do solo o torna mais exposto aos efeitos da compactação pelo pisoteio.

Como observado por Dias Júnior (2000) essa redução do espaço poroso, com aumento da densidade do solo, traduzido na compactação do

mesmo, promove degradação da estrutura desse solo. Com o aumento da compactação e/ou adensamento, a infiltração de água no solo sofre grande redução, promovendo acentuado escoamento superficial de água e maior possibilidade de arraste de solo e nutrientes. Em solos da região semiárida essa condição em longo prazo, contribui para a irreversível degradação do solo e da vegetação gerando áreas susceptíveis ao processo de desertificação (PARENTE; MAIA 2011).

Por outro lado, o tráfego de animais na área de solo descoberto também é responsável pelo alto percentual (27,5%) de matéria orgânica na camada superficial do solo (Tabela 8), quando comparado com as áreas cobertas por vegetação que obtiveram valores bem mais baixos (7,5%). Este valor diferenciado deve-se a deposição das fezes dos animais. Quando comparamos os valores das camadas menos superficiais temos uma redução drástica de 25% do teor de matéria orgânica em solo descoberto enquanto nas áreas de serapilheira e caatinga o percentual reduziu em apenas 2,5%.

Coser et al. (2007) explicam que a biomassa microbiana presente no solo, além de ser responsável pela reserva lábil e ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e fluxo de energia, é sensível às mudanças que ocorrem no solo, sendo assim o solo descoberto por ter perdido sua cobertura vegetal natural e estar mais vulnerável a degradação conta com uma menor atividade da biomassa microbiana, fazendo com que grande parte da matéria orgânica não seja assimilada ao solo.

A manutenção da cobertura vegetal também é importante por atenuar os impactos das gotas de chuva e diminuir a velocidade do escoamento superficial, aumentando a infiltração de água no solo. Sua eficiência em reduzir as perdas de solo por erosão pode ser atribuída principalmente à proteção da superfície do solo, impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação do solo (FROTA; NAPPO, 2012).

Assim, nesse estudo o maior percentual de agregação foi verificado nos tratamentos em que o solo apresentava cobertura vegetal, ou seja, tratamentos 2 e 3 (serrapilheira e caatinga). Ambos os tratamentos atingiram índices de agregação de 79,62 e 73,19% respectivamente, diferente do solo sem cobertura (tratamento 1), o qual apresentou 54,37 % de agregação (Tabela 9).

Tabela 9. Índices de estabilidade de agregados dos solos nas três coberturas de solo

Tratamento	DMP¹	DMG²	IEA³
	mm		%
Descoberto	0,86 A	0,66 A	54,37 A
Serrapilheira	1,21 A	0,79 A	79,62 B
Caatinga	1,60 B	1,07 B	73,19 B

1- Diâmetro Médio Ponderado; 2- Diâmetro Médio Geométrico; 3 - Índice de Estabilidade de Agregados.

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knot ($p < 0,05$).

A área coberta de caatinga obteve maiores valores de Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o que representa maior relação de macroagregados, indicando a qualidade do solo dessa área quando comparada ao tratamento 1 e 2, pois de acordo com Mielniczuk et al. (2003) um dos principais atributos do solo relacionados a sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, responsáveis pela estrutura do solo. O solo descoberto revelou os maiores valores de microagregados, típicos de solos que sofreram degradação. Com relação aos valores do diâmetro médio geométrico (DMG), comparando-se os três tratamentos sob diferentes tipos de cobertura do solo nota-se as mesmas tendências em relação a estabilidade dos agregados em água, expressa em DMP. A relação entre o diâmetro e a massa dos agregados pode ser verificada na figura 14.

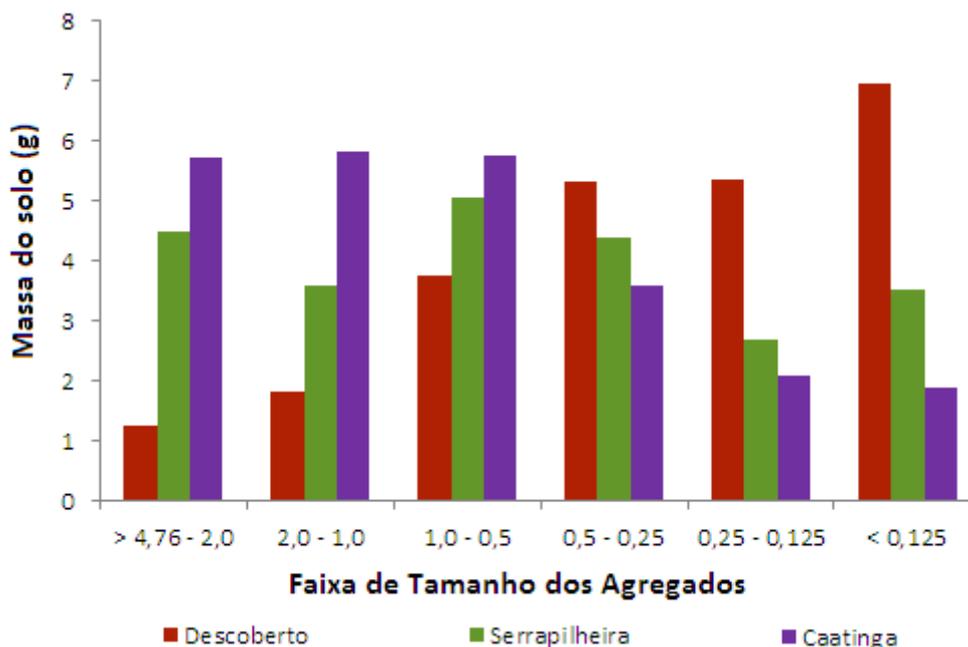


Figura 14– Massa do solo quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água nos tratamentos Solo Descoberto, Serrapilheira e Caatinga

Outra questão relacionada a estruturação do solo é a Resistência Tênsil, segundo Tormena et al. (2008) a magnitude da resistência tênsil reflete a hierarquia dos agregados na estrutura do solo, de modo que o fraturamento dos agregados maiores ocorre nos planos de fraqueza derivados das fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência. Ou seja, quanto maior a quantidade de macroagregados menor será a resistência tênsil do solo, como se pode verificar nos resultados apresentados na tabela 10, onde a menor resistência tênsil foi expressa no solo coberto por caatinga, o qual também apresentou uma quantidade superior de agregados de maior diâmetro.

Considera-se que altos valores de RT estão associados à maior quantidade de argila dispersa em água em solos fisicamente degradados, a qual se deposita nas fissuras existentes entre os agregados e atua como agente agregante (DEXTER; WATTS, 2000). Assim, os resultados de RT obtidos nos tratamentos 1 e 2 também podem estar relacionados a essa maior quantidade de argila dispersa em água encontradas nos solos descoberto e coberto por serapilheira (Tabela 6).

Tabela 10. Resistência Tênsil dos agregados dos solos para os tratamentos estudados

Tratamento	RT
	__KPa__
Descoberto	159,00 A
Serrapilheira	112,78 B
Caatinga	81,67 C

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knot ($p < 0,05$).

5.3. Infiltração Acumulada e Capacidade de Infiltração

A determinação da infiltração acumulada foi obtida através de ensaios realizados em campo nas condições de tempo chuvoso e tempo seco para os três tratamentos de cobertura do solo, solo descoberto, serapilheira e caatinga.

A partir desses dados pode-se observar que os tratamentos 1 e 2 resultaram em valores mais baixos de infiltração acumulada, resultando em 18,84 e 33,32 cm infiltrados em solo descoberto e em solo coberto por serapilheira respectivamente, já a área coberta por caatinga o valor médio acumulado atingiu 76,54 cm de infiltração em condição de tempo chuvoso (Figura 15).

A tendência foi mantida no período seco (Figura 16) onde o solo coberto por caatinga apresentou o maior valor médio de infiltração (85,08 cm) enquanto os tratamentos com serapilheira e solo descoberto obtiveram valores próximos (18,5 e 16 cm respectivamente).

Comparando os três tratamentos nas duas condições de tempo (chuvoso e seco), os menores valores de infiltração acumulada foram observados no tratamento 1, solo sem cobertura vegetal. Apesar de apresentar uma maior percentagem de matéria orgânica em sua camada superficial, o mesmo solo mostrou uma baixa porosidade e alta densidade do solo (Tabela 7), influenciando em uma baixa infiltração. Resultado semelhante, com menor infiltração em área de solo descoberto comparado a áreas cobertas por serapilheira e caatinga, foi encontrado por Piscoya (2012) no semiárido pernambucano, estudando a infiltração de água no solo através de chuva simulada.

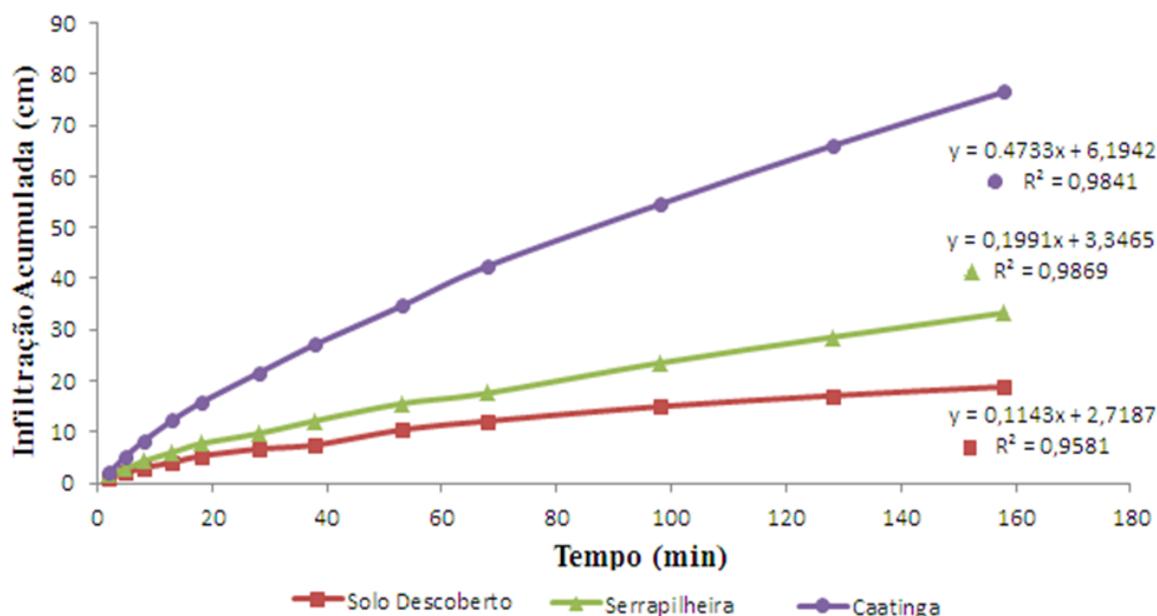


Figura 15. Infiltração acumulada (cm) em função do Tempo (min) nas áreas de Caatinga, Solo com Serrapilheira e Solo Descoberto para o período chuvoso

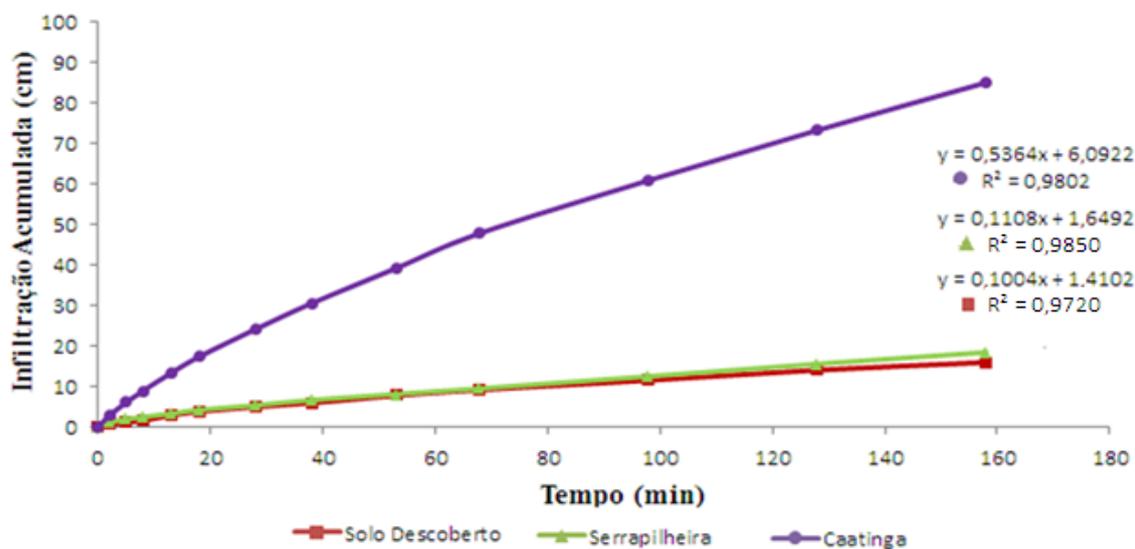


Figura 16. Infiltração acumulada (cm) em função do Tempo (min) nas áreas de Caatinga, Solo com Serrapilheira e Solo Descoberto para o período seco

As curvas obtidas nas Figuras 17 a 22 exibem o processo de infiltração medido em campo e estimado pelos modelos empíricos de Kostiakov e de Horton, o processo de infiltração inicia-se com taxas de infiltração elevadas que decrescem exponencialmente com o tempo, aproximando-se a um valor constante, normalmente chamado de velocidade de infiltração básica (VIB). A taxa inicial de infiltração é maior, no início do ensaio por ele se encontrar

relativamente seco, tendo, portanto, um gradiente de potencial mais elevado. Após um período de tempo o gradiente de potencial diminui e a taxa de infiltração decresce.

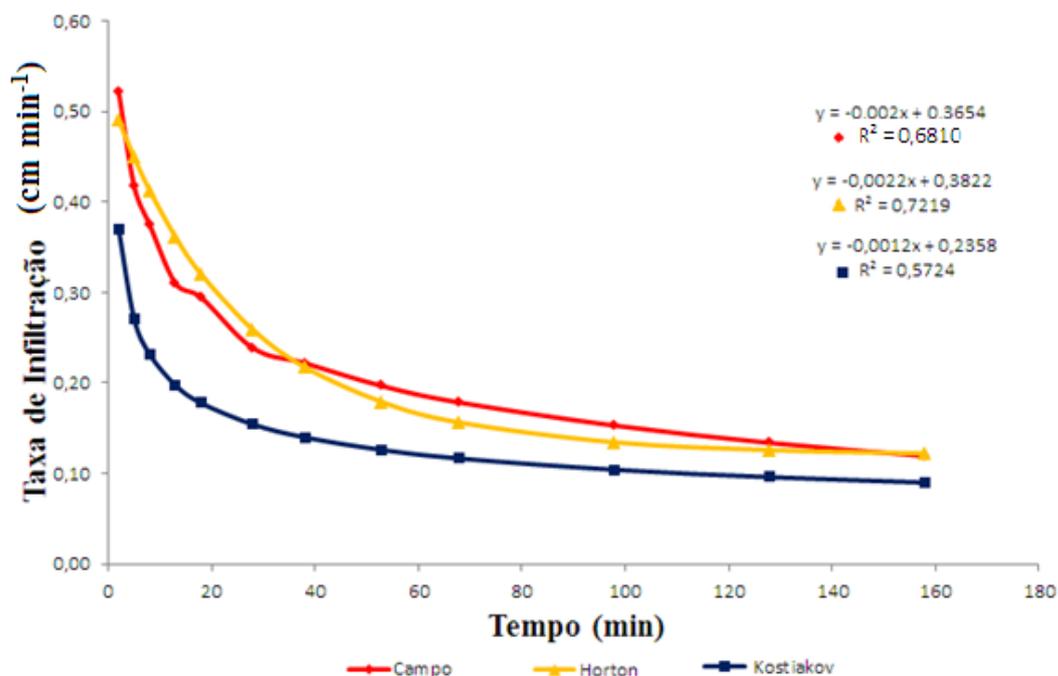


Figura 17. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo Descoberto em período chuvoso

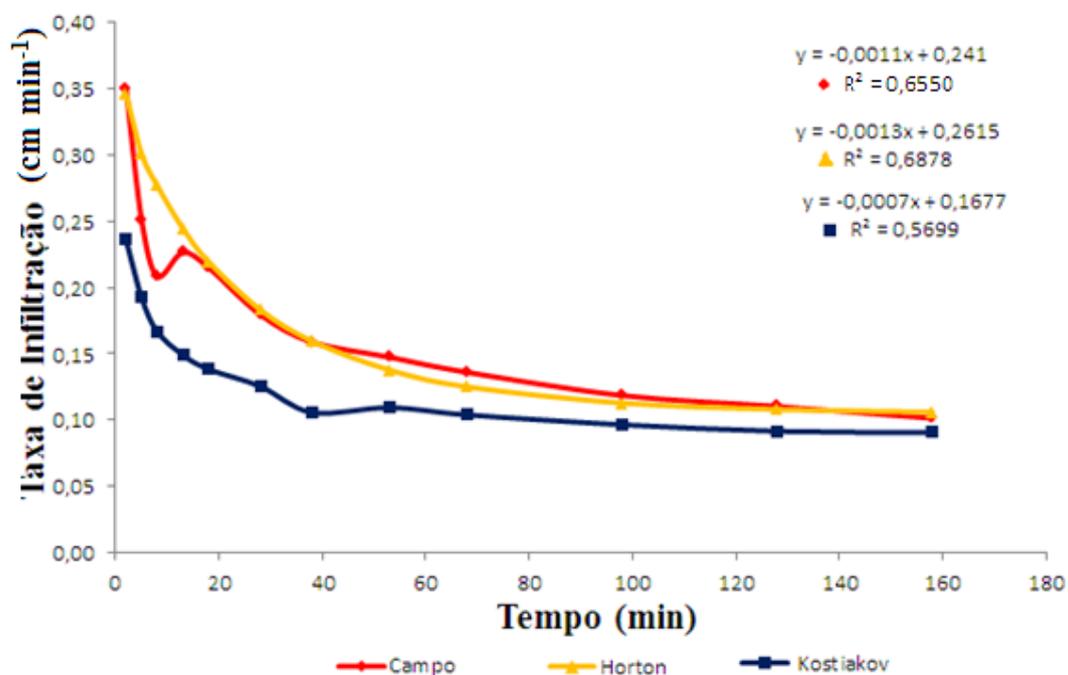


Figura 18. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo Descoberto em período seco

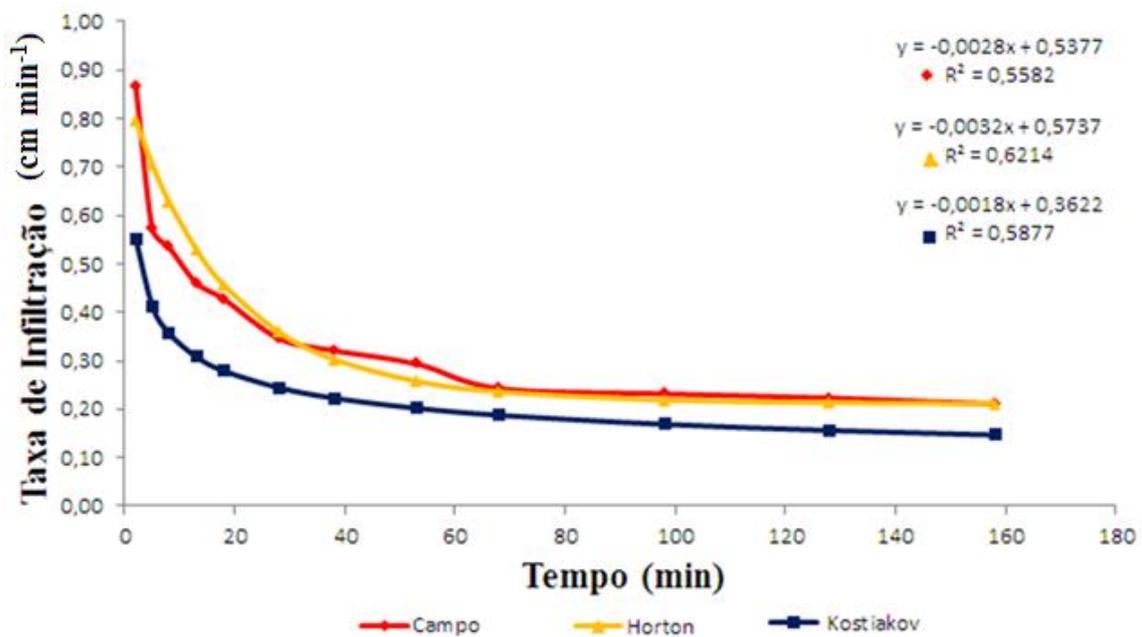


Figura 19. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Serrapilheira em período chuvoso

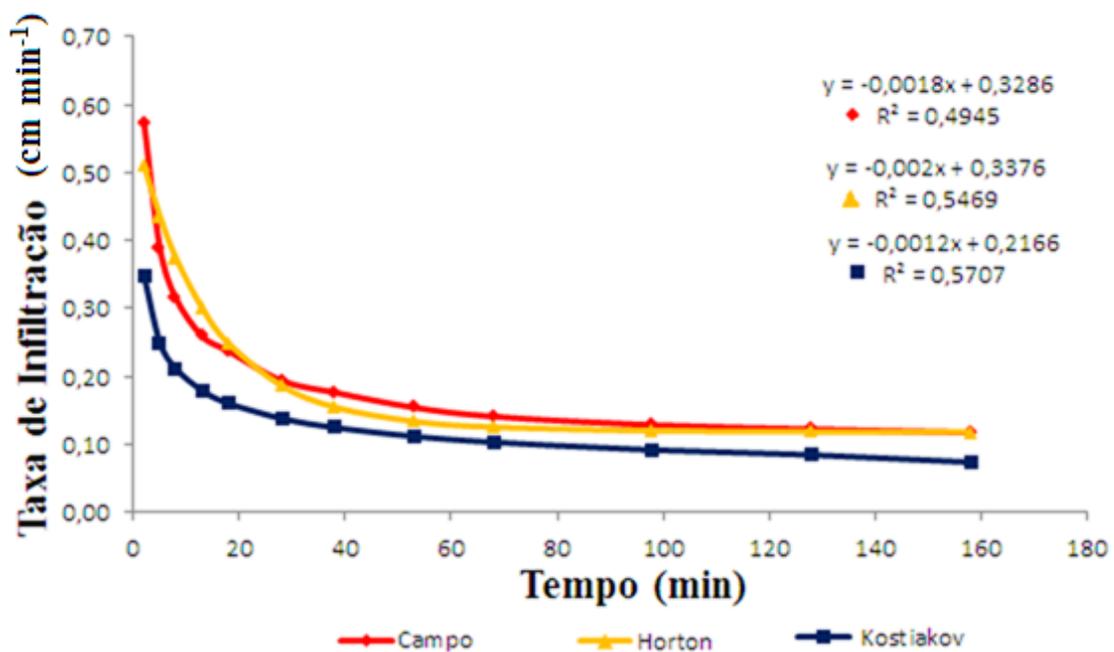


Figura 20. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Serrapilheira em período seco

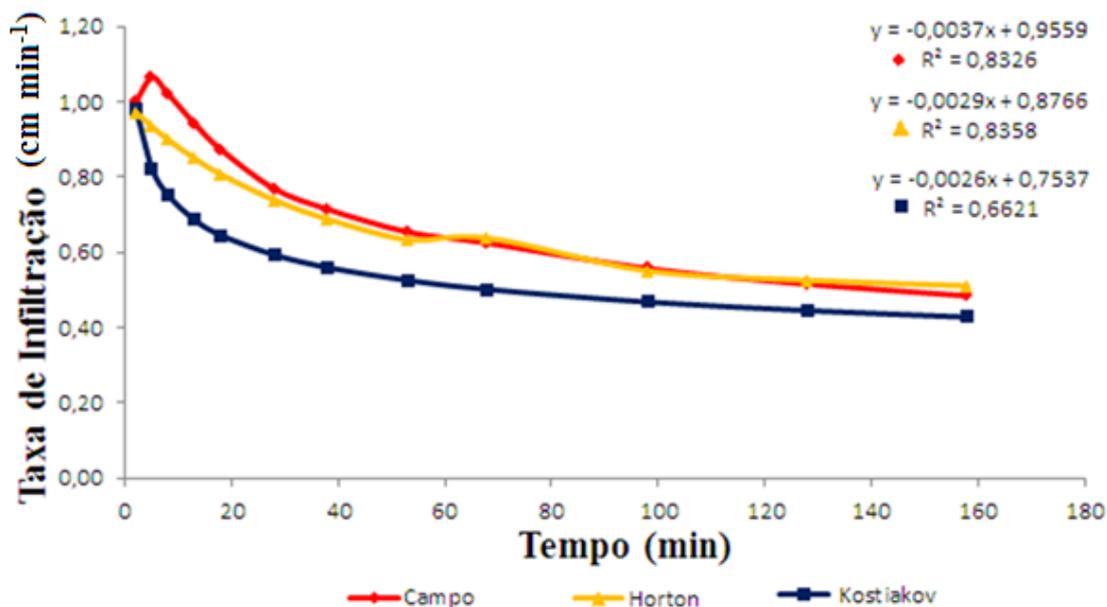


Figura 21. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Caatinga em período chuvoso

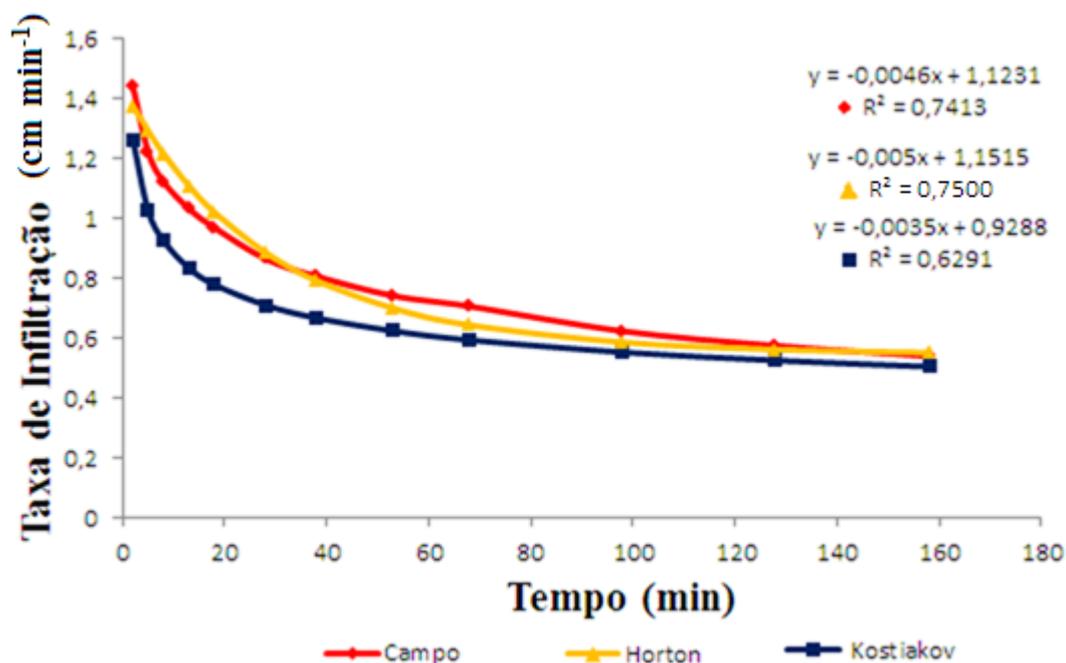


Figura 22. Taxa Infiltração medida em campo e estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov para Solo coberto por Caatinga em período seco

A maior capacidade de infiltração foi a obtida pelo solo coberto por vegetação nativa, caatinga, no tratamento 3. A média da taxa de infiltração medida na área atingiu o valor de $1,44 \text{ cm min}^{-1}$ no período seco e $1,06 \text{ cm min}^{-1}$ em período chuvoso. No tratamento 2, solo coberto por serapilheira com

predominância de algaroba, a capacidade de infiltração foi de $0,86 \text{ cm min}^{-1}$ em tempo chuvoso, em tempo seco a velocidade da água infiltrada passou a $0,57 \text{ cm min}^{-1}$. E a menor capacidade de infiltração foi a observado no tratamento de solo descoberto ($0,52 \text{ cm min}^{-1}$) em período chuvoso reduzindo para $0,35 \text{ cm min}^{-1}$ no período seco. Pinheiro, Teixeira e Kaufmann (2009) também observaram uma superior capacidade de infiltração do solo em área de mata nativa em relação aos solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola.

Os valores dos índices estatísticos (E, R^2 , RQEM e EMA) referentes ao desempenho dos modelos de kostiakov e de Horton em relação a taxa de infiltração do solo para os três tratamentos estão listados na Tabelas 11.

Tabela 11. Índices estatísticos de eficiência dos modelos emprícos de Kostiakov e Horton para os solos estudados nas condições de tempo chuvoso e tempo seco

Período	Tratamentos	Modelos	Avaliação do modelo			
			E'	$RQEM$	EMA	R^2
Chuvoso	Solo Descoberto	Kostiakov	0,6369	0,3322	0,8873	0,5724
		Horton	0,6371	0,1898	0,7300	0,7219
	Solo Serrapilheira	Kostiakov	0,7975	0,1590	0,5290	0,5877
		Horton	0,8415	0,1823	0,4900	0,6214
	Solo caatinga	Kostiakov	0,2196	0,3623	0,5983	0,6621
		Horton	0,7006	0,3622	0,9900	0,8357
Seco	Solo Descoberto	Kostiakov	0,5695	0,4203	1,2024	0,5699
		Horton	0,3553	0,1207	0,5100	0,6878
	Solo Serrapilheira	Kostiakov	0,6412	0,3254	0,6542	0,5707
		Horton	0,4808	0,1513	0,7300	0,5469
	Solo caatinga	Kostiakov	0,1107	0,4093	0,7194	0,7500
		Horton	0,6546	0,4880	2,0200	0,6291

Os valores alcançados desses índices sugerem que, em geral, os dois modelos apresentaram uma estimativa coerente com os dados observados em campo, com altos valores de E e R^2 . Contudo o modelo de Horton apresentou melhor desempenho exibindo os maiores valores de E (0,8415) e R^2 (0,8357) além de melhor ajuste às curvas de taxas de infiltração estimadas em relação às observadas em campo. Esses resultados corroboram com os encontrados em estudos com solos de textura franco-arenosa, como o realizado por Dalri et al. (2010) e Paixão et al. (2004). De acordo com Dalri et al. (2010) o modelo de Horton obteve um melhor ajuste de precisão com os dados observados quando comparado aos valores estimados pela equação de Kostiakov modificada. Paixão et al. (2004) também comprovaram melhor desempenho do modelo de Horton relação aos modelos de Kostiakov.

Logo, o modelo proposto por Horton pode ser indicado como mais adequado para estimar a taxa de infiltração do solo para os três tratamentos aqui estudados, solo descoberto, solo coberto por serapilheira e solo coberto por caatinga pertencentes a classe de Neossolos Flúvicos no semiárido pernambucano.

6. CONCLUSÕES

- Ausência de cobertura vegetal juntamente com o pisoteio de animais verificado no tratamento de solo descoberto, resultaram em uma maior densidade do solo, menor porosidade total, influenciando na compactação do solo, e diminuição do grau de agregação do mesmo. Isso foi refletido no processo de infiltração obtendo-se a menor capacidade de infiltração.

- Solo coberto por serrapilheira e solo coberto por caatinga semi-arbustiva, desempenharam maiores taxas de infiltração. Em presença de mata nativa a capacidade de infiltração foi superior aos demais tratamentos tanto em condições de período chuvoso quanto no período seco, obtendo valor maior de capacidade de infiltração em período seco que os tratamentos 1 e 2 somados.

- Entre os dois modelos empíricos aplicados Horton e Kostiaikov, Horton apresentou melhor ajuste de precisão entre os dados estimados e os dados obtidos com uso do infiltrômetro de cilindros concêntricos em Neossolos Flúvicos no semiárido pernambucano .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, S. G.; BANDEIRA, G. R. L. **Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 30, p. 885-891, 1995.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo.** Tese Doutorado. São Paulo: ESALQ/USP. 2008, 105p.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C. CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

APAC - **Agência Pernambucana de Águas e Climas.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso: 03 jan. 2017.

ASSIS, J. M. O.; SILVA, R. F.; SOUSA, W. S.; IRMÃO, R. A.; CORREIA, A. M. Tendências Climáticas Observadas no Período Chuvoso no Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 6 n. 2. p. 211-222, 2013.

BARZEGAR, A.R.; MURRAY, R.S.; CHURCHMAN, G.J. & RENGASAMY, P. The strength of remolded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v.32, n.2, p.185-199, 1994.

BELIK, W.; CORREA, C.; HELENA, V. A Crise dos Alimentos e os Agravantes para a Fome Mundial. **Mundo agrário**, v. 14, n. 27, p. 1-28, 2013.

BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedanceto root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, p.341-358, 1990.

BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BLACKBURN, W.H. 1984. Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses. In : **Developing strategies for rangeland management.** Nat. Res. Council/Nat. Acad. Sci. Westview Press, Boulder, Colo. p. 927–993.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Soil water: Characteristics and behavior. In: BRADY, N.C.; WEIL, R.R. (Org.) **The nature and properties of soils.** Prentice Hall, New Jersey, p 177–217. 2008.

BRAIDA, J. A., REICHERT, J. M., REINERT, D. J.; VEIGA, M. D. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um

Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14. n. 2, p. 131-139, 2010.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; DA SILVA, D.D. Fatores que Intervêm na Infiltração. In: **Infiltração da Água no Solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006, 120p.

BRANDT, C. J. The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. **Catena**, v. 16, n. 4-5, p. 507-524, 1989.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 10 de setembro de 2016.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005. 32 p. il.

BROWER, C., HEIBLOEM, M., 1986. **Irrigation Water Management Training Manual** n. 3: Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. FAO, International Support Program for Irrigation Water Management, Land and Water Development Division, Rome

BONKOUNGOU, E. G. 2001. **Biodiversity in the Drylands: Challenges and Opportunities for Conservation and Sustainable Use**. Challenge Paper. Nairobi: The Global Drylands Initiative, UNDP Drylands Development Centre.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 665-670, 2009.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1399-1407, 2008.

CANTALICE, J.R.B.; CUNHA FILHO, M.; STOSIC, B.D.; PISCOYA, V.C.; GUERRA, S.M.S.; SINGH, V.P. Relationship between bedload and suspended sediment in the sand-bed Exu River, in the semi-arid region of Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 8, p. 1789-1802, 2013.

CAPOBIANCO, J. P. R. Artigo base sobre os biomas brasileiros. In: CAMARGO, A.; CAPOBIANCO, J. R. P.; OLIVEIRA, J. A. P. (Org.) **Meio ambiente Brasil: avanços e obstáculos pós-Rio-92**. São Paulo: Estação Liberdade: Instituto Socioambiental: Fundação Getúlio Vargas, 2002. p. 1 17-155.

CARVALHO, J. C.; CARVALHO, J. T. C.; LEUZINGER, M. D. A infiltração no contexto da Educação Ambiental, da Engenharia e do Direito. In: CARVALHO,

J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; CARVALHO, E. T. L. **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília: Faculdade de Tecnologia, (Série Geotécnica – UnB, v. 4). p. 1-5, 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CAUSARANO, H. Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.28, n.1, p.15-25, 1993.

CHAN, K. Y. Friability of a hardsetting soil under different tillage and land use practices. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.13, n.3, p.287-298, 1989.

CORONATO, F. R.; BERTILLER, M. B. Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semi-arid rangelands of Patagonia. **Journal of Arid Environments**, v. 34, n. 1, p. 1-9, 1996.

CORREIA, R.C.; KILL, L.H.P.; MOURA, M.S.B.; CUNHA, T.J.F.; JESUS JÚNIOR, L.A.; ARAÚJO, J.L.P. **A região semiárida brasileira**. Disponível em <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/916891/1/01Aregiaoemiariadabrasileira.pdf18122011.pdf>>. Acesso em 28 de janeiro de 2017.

COSER, T.R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. . **Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.3, p.399-406, mar. 2007.

COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVA, R. L.; PINTO, A. P. A Pecuária Como Atividade Estabilizadora no Semiárido Brasileiro. **Revista Veterinária e Zootecnia**. p.2178-3764 v.20,n.3. 2013.

DALRI, A. B.; CORTEZ; G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, v. 15, n. 4, p. 344, 2018.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C., (eds). **Soil and environmental analysis: Physical methods**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2000. p.405-433.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **J. Agric. Eng. Res.**, 31:139-147, 1985.

DEXTER, A.R. Strength of soil aggregates and of aggregate beds. **Catena, Amsterdam**, Suppl.11, p.35–52. 1988.

DOBIE, P. Poverty and the Drylands. 2001. In: **United Nations Development Programme**, Office to Combat Desertification and Drought.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWARD, B.A. (Org.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, US: Soil Science Society of American, American Society of Agronomy, p.3-21 , 1994.

DUIVENBOODEW, N.V.; PALA, M.; STUDER, C.; BIELDERS, C.L.; BEUKES, D.J. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase soil water use efficiency: a review. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 48, p.213-236, 2000.

DUTRA, E.D.; MENEZES, R.S.C; PRIMO, D.C. Adições de nutrientes na compostagem de podas de árvores na região semiárida do NE do Brasil. **Scientia Plena**, v.9, n. 7, p. 1-12,2013.

EDWARDS, W. M.; OWENS, L. B. Large storm effects on total soil erosion. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.46, p.75-78, 1991.

ELALAOUI, A.C. **Sustainable agricultural management of drylands**. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. n. 80, p. 205-210, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamentos e Conservação de solos. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, K. G.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; (Editores técnicos). Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 65-75, 2017.

FEDLER, C.; LITTLEJOHN, J.; DUAN, R.; FENG, L. **Refining the application rates of onsite surfase application**. Department of civil and environmental engineering, Texas Tech University. Texas on-site wastewater treatment research council-TCEQ.51p, 2012.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap.1. p.1-27.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP. G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America. pt. 4, p. 229-240, 2002.

FONTENELE, W.; SALVIANO; A. A. C.; MOUSINHO, F. E. P. Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 194-202, 2009.

FROTA, P.V.; NAPPO, M.E. Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do açude Orós – CE. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.4, n.4, p.1472 – 1481, 2012.

FURTADO, C.; MOLION, L.C.B.; AB'SABER, A.N. **Nordeste: o tempo perdido**. Recife: ASA Pernambuco, 1986.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2011.

GARCÍA- RUIZ, J.M. The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. **Catena**, v. 81, p. 1–11, 2010.

GEE, G.W. e OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H. ; TOPP, G.C.(Org.). **Methods of soil analysis. Physical methods**. Madison, Soil Science Society of America Journal, Madison, Part 4. 2002, p. 255-293.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v.4, n.1, p. 64-73, de 2010.

GUÉRIF, J. Determination of the tensile-strength of soil aggregates – review and proposal for an improved technique. **Agronomie**, Paris, v.8, n.4, p.281-288, 1988.

GUIMARÃES, D. V; GONZAGA, M. I. S; ARAÚJO, E. M; NETO, J. O. M; TÍNEL JÚNIOR, J. I. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo Amarelo em Sergipe. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 183 – 189, 2014.

HARTGE, E.U.; RENSNER, D.; WERTHER, J. Solids concentration and velocity patterns in circulating fluidized beds. In: **Circulating Fluidized Bed Technology: Proceedings of the Second International Conference**. 1988. p. 165-180.

HESSE, C. **Ecology, Equity and Economics: Reframing Dryland Policy: Lessons for Adaptation in Practice – Opinion**. November. IIED, London. 2011.

HILLEL, D., 1980. Soil structure and aggregation. In: **Introduction to Soil Physics**. Academic Press, London. p. 40-52, 200-204, 1980.

HORTON, R.E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 5, p.399-417, 1941.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite PMDBBS**. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/index.htm>>. Acesso em: 24 Novembro 2017.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society American Journal**, Amsterdam, v.66, n.3, p.1656-1661, 2002.

JOHNSON, A. I. **A Field Method for Measurement of Infiltration**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1963. 31p.

KAY, B.D.; DEXTER, A.R. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a Red-Brown Earth. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v.30, n.3, p.297-310, 1992.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.425-441.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying in from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Paris, **International Soil Science Society**, p.17-21, 1932.

LARSON, W. E., LINDSTROM, M. J. AND SCHUMACHER, T. E. The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 52, n.2, p. 90-95, 1997.

LEGATES, D. R.; MCCABE JR, G. J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LEY, G.J.; MULLINS, C.E.; LAL, R. Effects of soil properties on the strength of weakly structures tropical soils. **Soil Till. Res.**, v.28,p.1-13, 1993.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da Água no Solo**, Piracicaba: Edusp, 335p., 2005.

LIMA, W. P.; FERRAZ, S.F.B.; FERRAZ, K.M.P.M.B. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F.(Org.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, p.215-244.

LIRA, R. B. D. et al. Efeitos do sistema de cultivo e manejo da Caatinga através da análise de indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola de Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 3, p. 18-24, 2012.

LIU, H.; LEI, T.W.; ZHAO, J.; YUAN, C.P.; FAN, Y. Y.; QU, L.Q. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. **Journal of Hydrology**. p.24–32, 2011.

LIU Z.; ZHONGSHAN, J. 1988. Study on natural raindrop impacting effects on loess crusting of upland. Bull. **Soil Water Conservation**, v.1, p. 62-64.

MACKS, S.P.; MURPHY, B.W.; CRESSWELL, H.P.; KOEN, T.B. Soil friability in relation to management history and suitability for direct drilling. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.34, n.3, p.343-360, 1996.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 01, p. 163-170, 2006.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A.; LACERDA, F.F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. INSA-Instituto Nacional do semiárido. Campina Grande, p. 383-422, 2011.

MATERECHERA, S.A.; DEXTER, A.R. ;ALSTON, A.M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plants species. Plant and Soil, **The Hague**, v.135, n.1, p.31-41, 1991.

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**, Lavras, v.8, n.1, p.32-41,2002.

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, n. 3, p.211-220, 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.1-6.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S.; ALVAREZ, V.H. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.3. p. 209-248, 2003.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J.; BRITO, L. D. L.; SOUZA, L. D.; SÁ, I.; SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2006.

MTISI, S.; NICOL, A. **Good Practices in Water Development for Drylands**. IUCN. p. 10, 2013.

OLIVEIRA, V. B. **Avaliação da infiltração da água no solo utilizando modelos determinísticos**. Dissertação (Mestrado). 67f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

ÖZTAS, T.; SÖNMEZ, K.; CANBOLAT, M.Y. Strength of individual soil aggregates against crushing forces. I. Influence of aggregate characteristics. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry Sciences**, Ankara, v.23, n.6, p.567-572, 1999.

PAIXÃO, R.F. J.; ANDRADE, A. R.S; AZEVEDO, C. A.V; SILVA, J. M. D.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R.M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2004.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 35, n.5, p. 1778. 2011.

PARENTE, H.N.; MAIA, M.O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 3-15, 2011.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C. D.; BENITES, V. D. M.; ESPÍNDULA JR, A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in histosols and soil horizons with high organic Matter content from Brazil. **Scientia Agricola**, v.63, n.2, p.187-193, 2006.

PERFECT, E.; KAY, B.D.; SILVA, A.P. Influence of soil properties on the statistical characterization of dry aggregate strength. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.59, n.2, p.532-537, 1995.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PINTO, O. A.S. **Dom Sertão, Dona Seca Ensaio**: A transposição só interessa às empreiteiras o Nordeste foi estopim do golpe de 30 o cangaço era empresa aristocrática. João Pessoa: A União, 2002.

PISCOYA, V. C. **Manejo em bacia hidrográfica do riacho Jacu: produção de sedimentos, dimensionamento de faixa de vegetação ciliar e salinidade**

da água em barragem subterrânea. 140 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife, 2012.

POESEN, J.; BUNTE, K. 1996. The Effects of Rock Fragments on Desertification Processes in Mediterranean Environments. In: BRANDT, C. J. ; THORNES, J. B. (Org.) **Mediterranean Desertification and Land Use.** John Wiley & Sons, Chichester, p. 247-269.

PONTES, E.T.M. **Transições paradigmáticas: do combate à seca à convivência com o semiárido nordestino, o caso do programa Um Milhão de Cisternas no município de Afogados da Ingazeira-PE.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 37, 2010.

PORTUGAL, A.F; COSTA, O. D. V.; COSTA, L.M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.

ÖZTAS, T.; SÖNMEZ, K.; CANBOLAT, M.Y. Strength of individual soil aggregates against crushing forces. I. Influence of aggregate characteristics. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, **Ankara**, v.23, n.6, p.567-572, 1999.

QUEIROZ, A. C. S; BEZERRA, B.G.; SANTOS E SILVA, C.M. Análise da tendência linear de eventos de precipitação intensa na região semiárida do nordeste do Brasil. In: SANTOS, C.A.C.; SILVA, M.T.; SILVA, V. M. A. **Recursos naturais do semiárido: Estudos aplicados.** Campina Grande: EDUFCEG, p. 89- 98, 2016.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.54, n.3/4, p.145-153, 2000.

REICHARDT, K. Relações solo-água-plantas para algumas culturas. In: REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1987. p.157-171.

REYNOLDS, J. F. ; SMITH, D. M. S.; LAMBIN, E. F.; TURNER II, B. L.; MORTIMORE, M.; BATTERBURY S. P. J.; DOWNING T.E.; DOWLATABADI, H; FERNÁNDEZ, R. J.; HERRICK,, J. E. ; HUBER-SANNWALD, E; JIANG, H; LEEMANS, R.; LYNAM, T; MAESTRE, F. T.; AYARZA, M.; WALKER, B. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development, **Science** v. 316, p. 847–851.

RIBEIRO, K. D. **Distribuição de vazios, determinada pela teoria geométrica probabilística, e sua influência na caracterização físico-hídrica dos solos.** 2008. (Tese) Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras Lavras: UFLA, 2008

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** Barueri: Manole, 478p., 2004.

RIES, B. J.; HIRT, U. Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro BASIN/SPAIN. **Catena**, v.72, p. 282-296, 2008.

RIZZARDI, A. S.; RIGHES, A. A.; CUNHA, K. P. D.; SILVA, R. F.; SANTOS, S. A.; BORBA, W. F. Atributos físicos e fluxo de água em solos da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim-RS. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 3690-3701, 2014.

RIZZINI, C.T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos.** Âmbito Cultural Edições, Rio de Janeiro. 1997

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRAROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e flora da Caatinga.** Recife: APNE, 2002. p. 11-24.

SANTOS, C. G. **Erosão hídrica e taxa de entrega de sedimentos na bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, PE.** 2013. 125f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE, 2013.

SILVA, F.; SCALIZE, P.S.; CRUVINEL, K. A. S.; ALBUQUERQUE, A. Caracterização de solos residuais para infiltração de efluente de estação de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 95-102, 2017.

SILVA, F. B. R.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAUJO FILHO, J. C. de; LEITE, P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico.** Petrolina: EMBRAPA-CPA TSA; Recife: EMBRAPA-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2 v. (EMBRAPA-CPA TSA. Documentos, 80).

SILVA, H.P.; ANDRADE, S.M. Brasil um país de terras secas: problemática, dimensão e alternativas de tecnologias apropriadas para o semiárido. In: CIRELLI, A.F.; ABRAHAM, E. **El agua en Iberoamérica: Aspectos de la problemática de las tierras secas.** CYTED XVII. Aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos, 2003. p. 55-64.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21:p. 113-117, 1997.

SILVA, M. A. S. D.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; DALLA ROSA, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista brasileira de ciencia do solo**. Viçosa. Vol. 30, n. 2 p. 329-337, 2006.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Influência da cobertura vegetal nos processos hidrossedimentológicos no semiárido do Nordeste, Brasil. **Perspectiva Geográfica**. n. 5, v. 1. p. 113-125, 2009.

SILVEIRA, A.L.;LOUZADA,J.A.; BELTRAME,L.F. Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade, ABRH EDUSP, 2000.p. 335-372.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Infiltração. In: GALVÃO, C. O; CIRILO, J. A.; CABRAL, J. J. S. P.; MEDEIROS, M. G. A. **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil**, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013. p. 190.

SOUZA, I.; MEDEIROS FILHO, J. **Os degradados filhos da seca**. Uma análise sócio-política das secas do Nordeste. 3 ed. Petrópolis: Vozes, 1984.

SRINIVASAN, K.; POONGOTHAI, S. Assessment of Infiltration rate of a Tank Irrigation Watershed of Wellington reservoir, Tamilnadu, India. **American Journal of Engineering Research (AJER)**. v. 02, p. 41, 2013.

STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis and erosion topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, p.1117-1142, 1957.

TAKAR, A; DOBROWLSKI, J; THUROW, T. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and inter-rill erosion on Somalio rangeland, **Journal of Range Management**, v. 43, n.6, p.486 – 490, 1990.

TORMENA, C. A. ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; PIRES DA SILVA, Á. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 943-952, 2008.

TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.33-42, 2008.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de C orgânico num Latossolo

Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

THOMAS, R.J. Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmers in Central Asia, West Asia and North Africa to climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 126, p. 36-45, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP. **Global Drylands: A UN system-wide response**.2011.132. p. Disponível em: <http://www.droughtmanagement.info/literature/EMG_global_drylands_2011.pdf
Acesso em: 10 de mai. 2018.

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil friability. **European Journal Soil Science**, Oxford, v.32, n.1, p.203-213, 1981.

VANDERVAERE, J. P. **Caracterisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrometrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés**. 1995. Tese (doutorado) - Université Joseph Fourier, Grenoble. 1995.

VAN DUIVENBOODEW, N.; PALN, M.; STUDER, C.; BIELDERS, C.L.; AND BEUKES, D.I. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase soil water use efficiency: a review. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 48, p.213-236, 2000.

VIANA, P.C.; LIMA, J. G. A.; ALVES, A. da S.; LIMA, R. M. de S.; MEDEIROS, J. F. de; PEREIRA, M. M. Determinação da Velocidade de Infiltração de Água no Solo em Sistemas de Plantio Direto e Convencional. In: **Anais...XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**, 2015.

VIEIRA, L.S. **Manual de Ciências do Solo: ênfase para solos tropicais. Agrônômica Ceres**, São Paulo. 1988.

WARREN, S.D.; NEVILL, M.B.; BLACKBURN, W.H.; GARZA, N.E. Soil response to trampling under intensiverotation grazing. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1336-1341, 1986.

WATTS, C.W.; DEXTER, A.R.; LONGSTAFF, D.J. An assessment of the vulnerability of soil structure to destabilisation during tillage. Part II. Field trials. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.37, n.2/3, p.175-190, 1996.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.239-245, 1997.

ZHI,L.; ZHONGSHANJ. Study on natural raindrop impacting effects on loess crusting of upland', **Bulleiin of Soiland Water Conservation**,v. 8, n.1, p.62-64, 1988.

ZHIDONG, L.; YANG, S.; XIE, S. **Soil Physics**, Beijing, Tstinghus University Press, p.77 –178, 1988.

ZHONGSHAN, J.; ZHI, L. 1989. Effect of rainfall factors and slope on splash erosion. **Acta Conservation is Soli et Aqua e Sinica** v.2, p. 29-35.

ZIADAT, F.; A. BRUGGEMAN; T. OWEIS, N. HADDAD; S. MAZAHREH; W. SARTAWI; M. SYUOF. 2012. A participatory GIS approach for assessing land suitability for rainwater harvesting in an arid rangeland environment. **Arid Land Research and Management**, v. 26,p. 297–311, 2012.

ZONTA. E.; BRASIL, F.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T.. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52.