



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



**MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES DO GRAU DE DEGRADAÇÃO EM  
ÁREAS REMANESCENTES DA CAATINGA EM TRIUNFO-PE**

**RECIFE - PE**

**2020**

**MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES DO GRAU DE DEGRADAÇÃO EM  
ÁREAS REMANESCENTES DA CAATINGA EM TRIUNFO-PE**

Dissertação apresentada pelo aluno Maykon Rodrigo Gomes de Barros ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de *Magister Scientiae*.

Orientador

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida (DEPA/UFRPE)

Co Orientador

Dr. Douglas Monteiro Cavalcante (PNPD – PPEAMB – UFRPE)

**RECIFE - PE**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B277a BARROS, MAYKON RODRIGO GOMES DE  
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES DO GRAU DE DEGRADAÇÃO EM ÁREAS  
REMANESCENTES DA CAATINGA EM TRIUNFO-PE / MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS. - 2020.  
42 f. : il.

Orientador: Brivaldo Gomes de .  
Coorientador: Douglas Monteiro .  
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2020.

1. Manejo de solos. 2. Palma. 3. Herbácea. 4. Degradação ambiental. I. , Brivaldo Gomes de, orient. II. , Douglas Monteiro, coorient. III. Título

CDD 620.8

---

**MAYKON RODRIGO GOMES DE BARROS**

Dissertação intitulada “**Atributos físicos do solo como indicadores do grau de degradação em áreas remanescentes da Caatinga em Triunfo-PE**”, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de *Magister Scientiae*, e aprovada em 30 de outubro de 2020.

---

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida (UFRPE)

Presidente da Banca Examinadora

**(Orientador)**

---

Prof. Dr. Alessandro dos Santos Brito (IFBAIANO)

(Examinador)

---

Prof. Dr. André Maciel Netto (UFPE/DEN/CTG)

(Examinador)

*A todos que contribuíram diretamente e indiretamente durante toda a minha formação, até os dias atuais.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por toda conquista até aqui realizada, nos momentos de dificuldades, o senhor Deus esteve sempre comigo e incentivando a não desistir das grandes batalhas da vida. Não foi fácil e nunca será sair do interior da Paraíba e viver uma vida na capital Pernambucana, algo totalmente diferente do que já tinha vivido; aprendi muito com tudo isso, se tornou mais uma experiência na vida.

A toda minha família, a minha irmã Brígida Millena Gomes de Barros, ao meu pai Luís Carlos Alves de Barros, as minhas tias Maria do Socorro e Aurinete Corrêa, em especial a pessoa mais importante da minha vida, minha mãe Maria Helenice Gomes de Barros, por todo apoio, não só nesses dois anos de mestrado, mas pelas vitórias e derrotas esteve sempre presente.

Agradeço de coração a Layane Carmem Arruda da Rocha, por sempre me incentivar e dizer que sou capaz de conquistar cada barreira imposta no meu caminho, nos momentos de desespero e aflição foi meu ponto de apoio, até aqui são seis anos juntos de muitas conquistas e experiências de vida.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, agradeço pela paciência e principalmente todos os seus ensinamentos, contribuindo de forma ampla para o meu futuro tanto acadêmico como profissional.

Ao meu Co-Orientador, Dr. Douglas Monteiro Cavalcante, agradeço pelos incentivos e ajuda na pesquisa, sendo a peça fundamental para a realização das minhas coletas.

Ao pessoal do laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia, agradeço por todo acolhimento e troca de informações, tanto da disciplina como na vida, ao Marlon, Monalisa, Talmo, Ana Paula, Diego, José, e aos conterrâneos Danilo e Fagna. Em especial a Neura Mendes, sempre conselheira e prestativa, ao técnico de laboratório, José Eudes, agradeço demais a parceria e amizade, me ajudou bastante nas minhas análises, serei sempre grato.

De forma consciente, entrei no mestrado sem bolsa, mesmo sabendo das dificuldades, nunca pensei em desistir, minha mãe me ajudava no aluguel, mesmo assim, não era suficiente, foi daí que Viviane Carmem Dourado e seu esposo Justino Francisco Dourado me deram a oportunidade de trabalhar durante os dias de sábado e feriados na sua loja veterinária, para que assim, eu conseguisse pagar o transporte público e as refeições do RU.

A Maria do Carmo e José Luís, por toda ajuda e apoio durante esse período, sem dúvidas, me ajudaram bastante.

A todos que fazem parte do PPEAMB, em especial, ao Prof. Dr. José Ramon Cantalice pelo apoio na minha coleta, e aos demais que contribuíram na minha formação, Professores: Fernando Cartaxo, André Maciel e Marcus Metri. A Walkiria Brito, secretária do programa, deixo meus sinceros agradecimentos por todo apoio e ajuda durante o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo por 1 ano.

“Ensinar não é transmitir conhecimentos, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção, Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender”

Paulo Freire.

## RESUMO

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ) é considerada uma propriedade física do solo que quantifica o fluxo da água através dos poros do solo, por meio do espaço e tempo de percolação. Assim, a  $K_{sat}$  é uma das mais importantes propriedades ligadas à dinâmica da água do solo e tem sido citada como um dos indicadores da qualidade estrutural do solo. Nos casos de erosão hídrica e degradação ambiental esta propriedade auxilia na tomada de decisão para definição do manejo do solo e tipo de cultivo, visando a preservação do solo e do meio ambiente. Os métodos para determinação da  $K_{sat}$  podem ser aplicados *in situ*, possibilitando a manutenção das condições do ambiente; mas também em laboratório, onde se pode controlar as condições dos ensaios. O bioma denominado Caatinga é exclusivo do Brasil e está presente em uma grande parte da região Semiárida, com características atípicas em comparação a outras regiões; logo, nota-se a importância de se estudar e entender esse bioma. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi diagnosticar o grau de degradação de áreas remanescentes da caatinga, no município de Triunfo – PE, por meio da condutividade hidráulica do solo saturado, avaliando o efeito do uso dessas áreas na dinâmica da água nos solos sob cultivo de plantas herbáceas e palma forrageira. Para a coleta das amostras não deformadas, realizadas nas profundidades de 0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, utilizou-se o amostrador tipo Uhland com cilindros volumétricos (volume de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup>), os quais foram utilizados para a determinação da  $K_{sat}$ . As amostras deformadas, coletadas nas mesmas profundidades, foram utilizadas para análises de granulometria, grau de floculação e dispersão, relação de silte/argila, densidade de partícula, umidade do solo. Os valores da  $K_{sat}$  obtidos nas áreas de Caatinga preservada, área em pousio com presença de herbácea e cultivo de palma foram, respectivamente, 9,66, 7,04 e 6,21, cm h<sup>-1</sup>, indicando que a Caatinga e a palma foram as áreas de menor e maior degradação, nessa ordem; sendo a área cultivada com plantas herbáceas considerada de nível médio de degradação. As comparações dos valores de  $K_{sat}$  com alguns atributos físicos do solo sugerem que o comportamento distinto da dinâmica da água nos solos sob cultivo de plantas herbáceas e palma pode também ser avaliado por tais atributos. Assim, pode-se destacar as correlações altamente significativas e positivas da  $K_{sat}$  com a fração areia e grau de floculação da fração argila; bem como as correlações altamente significativas e negativas com a argila total, argila dispersa em água e grau de dispersão, ratificando a ordem crescente de degradação: Caatinga < herbácea < palma.

**Palavras-chave:** Manejo de solos; Palma; Herbácea; Degradação ambiental



## ABSTRACT

The saturated hydraulic conductivity of the soil ( $K_{sat}$ ) is considered a physical property of the soil that quantifies the water movement through the soil pores, through the space and infiltration time. Thus,  $K_{sat}$  is one of the most important properties related to the soil water dynamics and has been cited as one of the indicators of the soil structural quality. In cases of water erosion and environmental degradation, this property supports in decision making to define soil management and type of cultivation, aiming to preserve soil and environment. The determination methods of  $K_{sat}$  can be applied *in situ*, allowing the maintenance of the environmental conditions; but also, in the laboratory, where the tests conditions are controlled. The biome called Caatinga is exclusive to Brazil and is found in large part of the semiarid region, with atypical characteristics comparing to other regions; thus, notice the importance of studying and understanding this biome. In this sense, the objective of this research was to diagnose the degradation degree of remaining areas of the caatinga in Triunfo - PE, using saturated hydraulic conductivity, evaluating the effect of the use of these areas on the soils water dynamics under herbaceous cultivation and cactus forage. Soil samples undisturbed were collected at the 0.0 – 0.10 and 0.10 - 0.20 m depths by the Uhland sampler with volumetric cores (volume  $\cong 100 \text{ cm}^3$ ) to  $K_{sat}$  tests. Disturbed samples, collected at the same depths, were used for particle size analysis, degree of flocculation and dispersion, silt/clay ratio, particle density and soil water content. The  $K_{sat}$  values obtained in the areas with Caatinga, herbaceous and cactus forage were, respectively, 9.66, 7.04, and 6.21  $\text{cm h}^{-1}$ , indicating the Caatinga and cactus forage as areas of reduced and greater degradation, respectively, and the area under herbaceous with medium level of degradation. The interactions of  $K_{sat}$  values with some soil physical attributes suggest that the different behaviour of soil water dynamics under herbaceous and cactus forage cultivation can also be evaluated by these attributes. Thus, the highly significant and positive correlations between  $K_{sat}$  and sand fraction and the flocculation degree of the clay fraction were highlighted; as well as the highly significant and negative correlations with the total clay, clay dispersed in water, and dispersion degree, ratifying the increasing order of degradation: Caatinga < herbaceous < cactus forage..

**Keywords:** Soil management; Cactus forage; Herbaceous; Ambiental degradation

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo.....	20
<b>Figura 2.</b> Aspecto da área após ação de queimadas e com plantio de palma forrageira.....	22
<b>Figura 3.</b> Área em pousio com presença de herbáceas .....	22
<b>Figura 4.</b> Área com Caatinga preservada há 10 anos.....	23
<b>Figura 5.</b> Representação do perfil de um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico da área de estudo. ....	23
<b>Figura 6.</b> Comportamento da argila dispersa em água (ADA) em relação ao grau de flocculação (GF), para os três sistemas de uso do solo.....	29
<b>Figura 7.</b> Variação da condutividade hidráulica saturada do solo em função da quantidade das frações silte + argila: A) área sob palma; B) área sob herbácea; C) área sob Caatinga .....	30
<b>Figura 8.</b> Variação da condutividade hidráulica do solo em função em função da quantidade da fração areia: A) área sob palma; B) área sob herbácea; C) área sob Caatinga .....	30
<b>Figura 9.</b> Frequência absoluta e relativa da relação silte/argila na textura do solo .....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros físicos do solo sob diferentes sistemas de uso, nas profundidades 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m .....	27
<b>Tabela 2.</b> Resultados da ANOVA para os efeitos dos sistemas de uso, profundidades e interação dos parâmetros físicos do solo nas áreas estudadas .....	28
<b>Tabela 3.</b> Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros físicos do solo, avaliados nas profundidades de 0,0-10 m e 0,10-0,20 m, sob diferentes sistemas de manejo.....	33

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
3.1 Bioma Caatinga e seu uso agrícola.....	16
3.2 Condutividade hidráulica do solo.....	16
3.3 Argila dispersa em água e grau de flocculação.....	18
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
4.1 Área de estudo.....	20
4.2 Caracterização da área de estudo .....	21
4.3 Ensaio para determinação dos parâmetros físico-hídricos do solo.....	24
4.3.1 Análise granulométrica dos solos .....	24
4.3.2 Condutividade hidráulica saturada .....	24
4.3.3 Densidade de partícula sólidas do solo.....	25
4.3.4 Relação silte/argila.....	26
4.4 Análise estatística.....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o produtor rural enfrenta as dificuldades climáticas da região Nordeste utilizando algumas práticas como queima da vegetação, desmatamento e cultivo rotacional com tempo mínimo. Estes procedimentos podem afetar diretamente a camada superficial do solo, onde são encontrados espaços porosos responsáveis pela infiltração e drenagem da água, e circulação do ar, matéria orgânica e partículas minerais, que adsorvem íons a serem disponibilizados para a nutrição dos vegetais. Estas ações antrópicas podem contribuir para a degradação do solo, intensificando cada vez mais os problemas para a produção agrícola.

Desse modo, Fráguas e Garcia (2010) destacam que é importante conhecer os recursos naturais (solos, clima, vegetação e relevo), para a avaliação do potencial de uso das terras. Para que isso aconteça, os autores enfatizam que é necessário que ocorra a combinação dos contextos sociais, econômicos e culturais, para que possa ser realizada uma análise das possíveis ocupações, restrições e impactos ligados ao uso da terra.

O solo tem grande importância na sustentabilidade dos ecossistemas, principalmente o terrestre, por ser dinâmico e desempenhar funções ambientais importantes, especialmente para a produção agrícola, uma vez que funciona propiciando um meio equilibrado para o desenvolvimento de plantas, suporte para animais, microorganismos e por exercer regulação do fluxo de água, ar e nutrientes para as plantas (MAROUELLI, 2003). De fato, como observado por Yan et al. (2020), mesmo diante de toda dificuldade, a maioria das plantas que se encontram em áreas com pouca disponibilidade hídrica e nutricional, obtêm água e nutrientes dos solos por meio de adaptações dos seus sistemas radiculares.

O manejo inadequado de áreas agrícolas promove a compactação do solo, sendo uma importante causa de perdas de produtividade, em razão de modificações físicas no ambiente radicular (NAGAHAMA et al., 2016). Essas alterações englobam a redução das disponibilidades de oxigênio e de água, e o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular (CAVALIERI et al., 2006). Assim, o manejo do solo tem influência direta na compactação do solo, que também é influenciada por atributos do solo, como a textura, mineralogia e o conteúdo de matéria orgânica (BERNOUX et al., 1998; DA SILVA et al., 2010).

O impacto da ação humana em áreas que deveriam estar protegidas, como o bioma Caatinga, tem promovido a sua degradação. Esse bioma tem sido ocupado a partir da exploração dos seus recursos naturais e, nos últimos anos, os índices de uso desses recursos se tornaram preocupantes, os quais atingiram diversos setores como a extração da madeira, caça de animais silvestre, extração de mel de abelha, queimadas, dentre outras ações (PEREIRA FILHO et al., 2013).

A Caatinga, apesar de ser um Bioma de exclusiva ocorrência no Brasil, além de ser a área de Semiárido mais populosa no mundo, é uma das regiões naturais brasileiras menos estudada e pouco

protegida, fatos resultantes da baixa prioridade de investimento em conservação dessas áreas (LEAL et al., 2005; SANTOS et al., 2011).

Um dos exemplos do impactado da pressão antrópica sobre os recursos naturais é a utilização do Bioma Caatinga para fins agrícolas, como observado em Triunfo – PE. Nesta cidade, mais especificamente no distrito de Carnaubinha, áreas remanescentes da Caatinga estão sendo cultivadas com plantas herbáceas e palma. Nessas áreas, tais cultivos são implementados após queimadas, que é uma das práticas culturais utilizadas na região, com o objetivo de facilitar a retirada de troncos de árvores e plantas espontâneas, para posteriormente dar início ao plantio. Apesar deste cenário, com o uso de área sob Caatinga para fins agrícolas, poucas são as pesquisas que avaliam o impacto dessas e outras práticas sobre este Bioma, que vem sendo degradado há décadas.

Diante do exposto, espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para o diagnóstico do grau de degradação e entendimento da dinâmica da água dos solos cultivados em áreas remanescentes da Caatinga em Triunfo – PE, onde tais fatos nortearam os objetivos da pesquisa em tela.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Diagnosticar o grau de degradação de áreas remanescentes da Caatinga em Triunfo – PE, por meio da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ), avaliando o efeito do uso dessas áreas na dinâmica da água nos solos sob cultivo de plantas herbáceas e palma.

### **2.2 Específicos**

- Determinar a  $K_{sat}$  dos solos sob área de Caatinga preservada, área com cultura de herbáceas e palma forrageira, utilizando um permeâmetro de carga constante (PCC) em laboratório;
- Determinar os atributos relativos à textura dos solos: granulometria (areia, silte e argila); argila dispersa em água; grau de floculação; grau de dispersão; relação silte/argila; além da densidade de partículas sólidas do solo;
- Avaliar os resultados da condutividade hidráulica do solo nas áreas estudadas em função do manejo, textura dos solos e do grau de floculação.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Bioma Caatinga e seu uso agrícola**

A grande pressão antrópica sobre os recursos naturais tem impactado muitos biomas e, dentre eles, a Caatinga tem sido classificada como o segundo ecossistema mais degradado do Brasil, ultrapassado apenas pela Mata Atlântica, ficando o Cerrado com a terceira posição (LEAL et al., 2005). Parte desta degradação pode ser explicada pela utilização da sua vegetação como fonte energética, onde a lenha é retirada e utilizada em calcinadoras de gipsita, padarias, queijeiras, casas de farinha, cerâmicas, caieiras de tijolo, dentre outros usos (FONTINELE, 2016).

O desmatamento, considerado como forma de degradação da Caatinga, é uma prática que vem sendo utilizada com fins agrícolas em muitas áreas sob este Bioma. A respeito disso, Castelletti et al. (2004), em estudos para atualização dos dados utilizados na avaliação do impacto do uso de áreas sob Caatinga, calcularam que entre 30 e 52% da área foi alterada por atividades antrópicas. Esses números indicam que praticamente metade desse bioma foi transformado em pastagens, terras agricultáveis e outros tipos de uso intensivo do solo, como a construção de estradas sobre a vegetação.

Estudos desenvolvidos sobre a Caatinga são importantes e se justificam em função da necessidade de conservação deste bioma, tendo em vista a manutenção do seu alto grau de endemismo e riqueza de espécies do único bioma exclusivamente brasileiro (SANTOS et al. 2011; LOURENÇO, 2017).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015), o bioma Caatinga possui uma área de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup>, constituído em sua maioria por plantas xerófilas e florestas subperenifólias. Giongo et al. (2011) ressaltam que a formação desse bioma é constituída pela presença de florestas arbóreas ou arbustivas, possuindo uma maior quantidade de árvores e arbustos com baixa elevação e possuindo espinhos, microfilia e características xerofíticas. Trovão et al. (2007) destacam que as plantas da Caatinga possuem seu comportamento fenológico e fisiológico adaptados às condições de clima adverso, sendo seus recursos naturais utilizados como fonte de sobrevivência para uma parte da população local.

Na agricultura que vem sendo praticada no bioma Caatinga, o agricultor desmata, queima por um período de dois anos e a área é então deixada em repouso para a recuperação de sua capacidade produtiva (NUNES et al., 2009). No entanto, pesquisas divulgadas pela FAO (2016) e em Mukul e Herbohn (2016) ressaltam que, apesar da importância da agricultura de corte, queima e o crescimento da vegetação em regiões úmidas, os estudos quantitativos dos processos e fatores intercalados às respostas hidrológicas continuam limitadas.

#### **3.2 Condutividade hidráulica do solo**

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa a dinâmica da água por entre os poros do solo, sendo, portanto, muito importante nos meios agrícolas, na produção das culturas,



preservação do solo e do ambiente (GONÇALVES e LIBARDI, 2013). Assim, a  $K_{sat}$  é uma das mais importantes propriedades do solo que controlam a infiltração de água na superfície do solo, lixiviação de insumos agrícolas de terras cultivadas e migração de poluentes de locais contaminados para as águas subterrâneas (REYNOLDS et al., 2000).

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ) diminui sua magnitude à medida que o solo vai perdendo seu conteúdo de água (ZAREBANADKOUKI et al., 2015). Segundo Tiana et al. (2018), a  $K_{sat}$  tem uma importante função significativa para os aspectos hidrológicos, agrícolas e ecológicos, sendo seu valor medido *in situ* ou em laboratório.

A ação antrópica, realizada de forma irresponsável ou sem conhecimento, pode causar impacto no meio ambiente, alterando de certa forma a infiltração da água no solo. Esta permeabilidade pode ser representada pela condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ), e vem sendo investigada, principalmente em regiões com ecossistemas frágeis, como na Nebraska Sand Hills (NSH), caracterizado como um clima semiárido. Neste caso, o estudo foi realizado em dunas sob vegetação, onde se observou o comportamento da  $K_{sat}$  em função de períodos distintos, em profundidades (WANG, et al., 2015).

Torna-se evidente que as ações humanas contribuem de forma eminente para as alterações físicas do solo, de modo que possa interferir na sua qualidade. Essas interferências estão associadas ao uso e ocupação do solo sem preocupação dos impactos relacionados ao meio ambiente. Lima et al. (2013) abordam que o homem ao ocupar o solo provoca alterações associadas à prática de manejo do solo em níveis alternados. Esses autores enfatizam que a manutenção da qualidade dos solos é fundamental para o desenvolvimento de culturas e, conseqüentemente, elevada produtividade.

Um das conseqüências, diante do tipo de manejo, que altera a qualidade físico-hídrica do solo via diminuição do espaço poroso, é a compactação do solo, atribuída pelas ações mecanizadas, antrópicas e presença de animais para se alimentarem da pastagem. Silva et al. (2012) destacam que as propriedades físicas e hidráulicas do solo influenciam nos processos hidrológicos, incluindo a infiltração, a erosão, a redistribuição de água e o transporte de solutos através do perfil. Assim, abordando a relação entre propriedades físico-hídricas do solo, Bagarello et al. (2012) enfatizam que a condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ), a densidade do solo e a umidade do solo, são variáveis significativas a serem monitoradas para uso e ocupação do solo.

Neste sentido, Tian et al. (2017) realizaram um estudo para compreender o comportamento da  $K_{sat}$  em áreas próximas ao rio Heihe, Noroeste da China, localizado em regiões áridas e semiáridas, com amostras sob diferentes tipos de coberturas de solo, sendo que o impacto na cobertura no solo ocorreu na camada de 0,0 – 0,10 m, destacando que a cobertura do solo não foi o principal fator de controle para determinar a variação espacial da  $K_{sat}$  abaixo da primeira camada. Diversos pesquisadores como Gao et al. (2014) e Shi et al. (2016) citam que as mudanças na cobertura do solo têm grande influência no solo e

nas suas propriedades hidráulicas. Um exemplo é o trabalho de Archer et al. (2013) que observaram alteração significativa da Ksat entre as áreas de floresta e pastagem.

A Ksat é considerada como um excelente parâmetro físico do solo, ressaltando sua influência não só apenas no aspecto hidrológico do solo, mas também por fornecer informações para o planejamento da recuperação de vegetação e práticas agrícolas (ZHAO et al., 2016). Estudo realizado em Campine, norte da Bélgica, analisaram a condutividade hidráulica do solo com textura arenosa e observaram que ocorreram mudanças distintas na paisagem a partir dos resultados expressivos de condutividade hidráulica, e tais mudanças foram quantificadas por meio das áreas de paisagens preservadas (BEERTEN et al., 2012).

Em Cambará do Sul-RS, Abraão et al. (2015) analisaram o comportamento da Ksat em Cambissolo Húmico Alumínico, em povoamentos florestais com rotações de cultivo de *Pinus taeda L.* e uma área de floresta nativa, adotada como testemunha, nas quais os valores de Ksat foram superiores nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,20 m, para a área de primeira rotação. Os mesmos autores destacaram que na área da segunda rotação, os valores de Ksat apresentaram estatisticamente superiores aos obtidos em amostras submetidas ao tratamento de campo nativo, adjacente à segunda rotação, na camada de 0-0 à 0,05 m.

Estudos relacionados à hidráulica do solo, como aquele apresentado em Yao et al. (2015), mostram que se torna necessário utilizar dados da Ksat na busca de soluções para muitos manejos do solo e problemas correlacionados à agricultura, meio ambiente e ecologia. A topografia do solo, o tipo de vegetação e o manejo utilizado acabam afetando de forma gradual a Ksat, pois influenciam os atributos do solo que dependem da sua estrutura, incluindo a porosidade do solo e a distribuição de tamanho de poros (WANG et al., 2013).

Ainda segundo Wang et al. (2013), além dos fatores relacionados ao solo, há características da vegetação (por exemplo, cobertura vegetal, tipo e idade) que também afetam a estrutura do solo, alterando-a via processos físicos e químicos, bem como a comunidade de microrganismos.

### **3.3 Argila dispersa em água e grau de flocculação**

De acordo com Centurion et al. (2001), a retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando seus atributos físico-químico-biológicos, além de limitar sua utilização agrícola e torná-lo mais suscetível à erosão hídrica. Estudos direcionados ao teor de matéria orgânica mostram sua influência na agregação das partículas do solo, dentre elas o grau de flocculação - GF (MULLER et al., 2001; PRADO e CENTURION, 2001), que é calculado a partir dos valores de argila total e argila dispersa em água (GEE e OR, 2002).

A argila dispersa em água (ADA) é um atributo que interfere diretamente no processo da compactação dos solos e na magnitude do GF, que tem influência na agregação das partículas do solo; sendo, dessa

forma, atributos importantes nos estudos de conservação dos solos (SANTOS et al., 2010a). Diversos estudos avaliaram as características da estrutura do solo, via análises dos resultados da ADA e do GF.

Dontsova et al. (2009) ressaltam que, quanto maior os valores da ADA, a estabilidade de agregado e a resistência do solo à desagregação serão menores, com efeito inverso diante do GF, pois quanto maior seu valor, maior será a estabilidade estrutural, direcionando na junção das partículas do solo e na resistência do solo diante da erodibilidade. Assim, Ferreira et al. (2010) avaliaram o GF em um Cambissolo, em três áreas de pastos com manejos diferentes, destacando alterações nos valores do GF em pastos sob ações de queima.

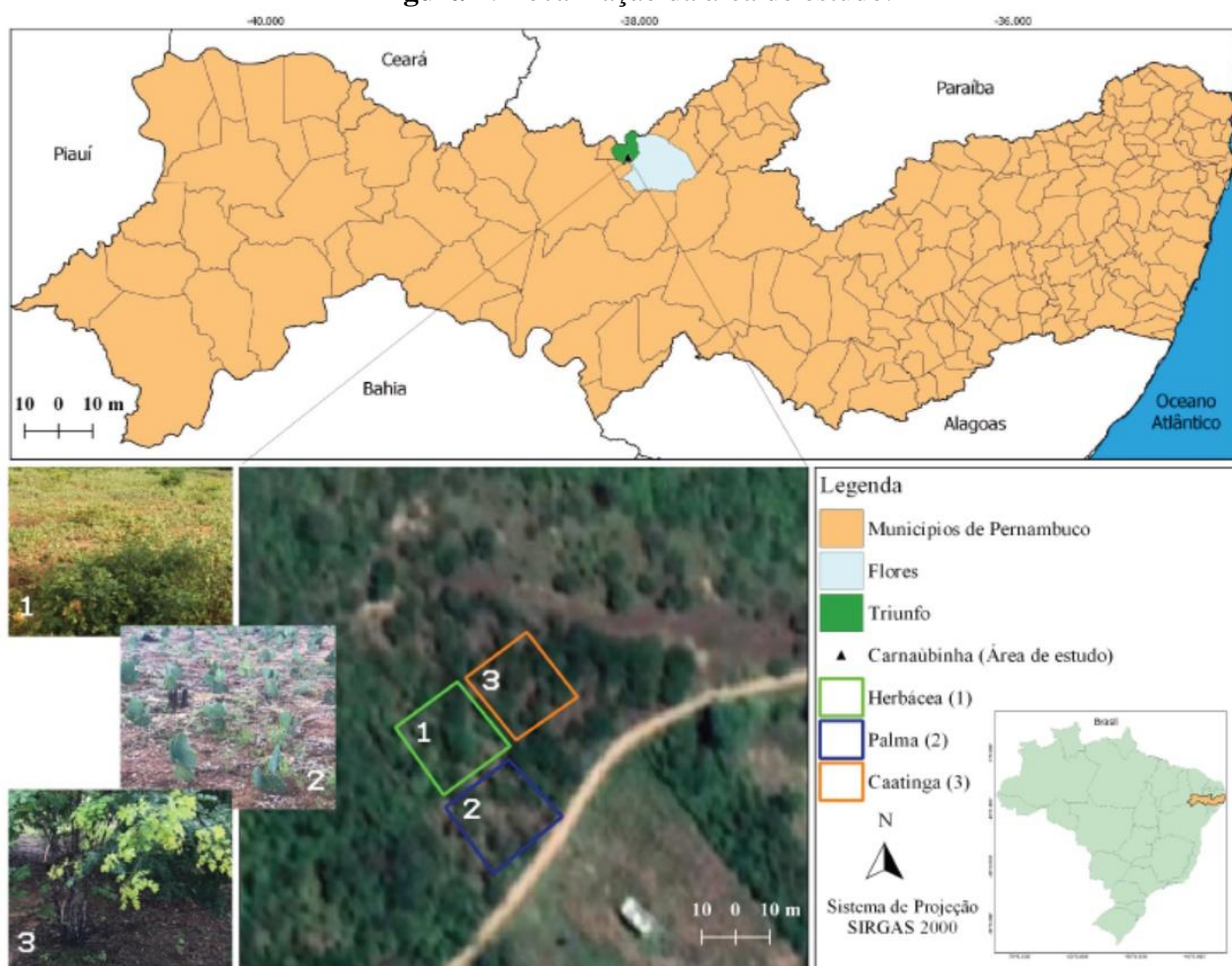
Mota et al. (2015) analisaram os atributos físicos e químicos do solo de um Cambissolo, em uma área com cultivo de banana (*Musa sp.*) por aproximadamente oito anos, e uma área com preservação de dez anos, ambas localizadas na região do Ceará. Diante dos atributos físicos avaliados, os autores concluíram que não houve alterações referente as duas áreas em estudo, e atribuem este resultado ao fato de, na área sob cultivo de banana, os resíduos da cultura são mantidos na superfície do solo para decomposição; já na área sob vegetação nativa, o aporte é pequeno, por se tratar de uma vegetação típica do bioma Caatinga.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Sítio Carnaubinha (07° 53' 40" S; 38° 03' 38" O; 490 m de altitude), inserida na Mesorregião do Sertão Pernambucano (Microrregião do Pajeú), geograficamente pertencente ao município de Triunfo (07° 50' 17" S; 38° 06' 06" O; 980 m de altitude), no estado de Pernambuco, Brasil. Próxima a área de estudo, cerca de 12,9 km, está localizado o município de Flores (07° 51' 27" S; 37° 58' 20" O; 480 m de altitude) (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área de estudo.



Fonte: O Autor (2020).

Apesar da proximidade, o município de Triunfo por situar-se em um brejo de altitude, localiza-se no topo da Serra da Baixa Verde, a mais de mil metros acima do nível do mar, apresenta classificação e condições climáticas diferente do município de Flores [Triunfo: clima tropical com estação seca, do tipo *As*, fronteiro com o clima tropical de altitude ou subtropical úmido, do tipo *Cwa*, segundo a classificação de Köppen (1936) e adaptado para o Brasil por Alvares et al. (2014), com temperatura média anual de 21°C e precipitação média anual de 1.011,74 mm (APAC, 2020); Flores: clima do tipo *BSh* bastante

representativo em Pernambuco, abrangendo 61,4% do território, definido como Semiárido, quente e seco, com temperatura média anual de 23,4 °C e precipitação média anual de 591,1 mm].

Diante dessas informações, foi levada em consideração para área de estudo, as condições climáticas do município de Flores. A vegetação constitui-se basicamente de Caatinga Hipoxerófila, com trechos de floresta caducifólia e relevo plano (CPRM/PRODEEM, 2005).

#### 4.2 Caracterização da área de estudo

Para a realização do experimento, foram selecionadas três áreas contíguas e com manejos distintos: (i) área com plantio de palma (palma); (ii) área com espécies herbáceas (herbácea) e; (iii) área com Caatinga preservada (Caatinga). A primeira área (Figura 2), cultivada com palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), anteriormente ocupada por vegetação nativa, foi submetida ao manejo da queima em dois ciclos anuais, com o objetivo de facilitar a retirada dos troncos das árvores e eliminação de plantas espontâneas. A palma é uma cactácea bastante utilizada para suprir a ausência de alimentos para os rebanhos de caprinos, ovinos e bovinos na região semiárida do Brasil.

A segunda área (Figura 3), submetida previamente ao mesmo manejo da primeira, foi deixada em pousio, o que levou ao surgimento de plantas herbáceas, compostas principalmente por: *Pteridófitas*, do grupo dos vegetais vasculares parafiléticos, com ausência de sementes, sendo composta por raiz, caule e folhas; *Cyperaceae*s, plantas monocotiledóneas herbáceas perenes, excepcionalmente anuais, semelhantes a gramíneas e juncos; também em alguns pontos foram encontradas espécies de capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L), entre outras espécies. A terceira área (Figura 4), composta por Caatinga preservada há cerca de 10 anos, foi considerada área de referência. Nesta área foi observada a presença de pegadas e fezes de animais, além disso, foram observadas espécies arbóreas, como: imburana-de-espinho (*Commiphora leptophloeos*), angico (*Anadenanthera colubrina*), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*); espécies arbustivas: xique-xique (*Pilosocereus polygonus*), jurema preta (*Mimosa hostilis* Benth), marmeleiro (*Cydonia oblonga*), mofumbo (*Combretum leprosum*) e; espécies rasteiras, como: urtiga (*Urtica*), beldroega (*Portulaca oleracea*), macambira (*Bromelia laciniosa*), entre outras.

A descrição do perfil e a coleta das amostras de solo em profundidade foram realizadas de acordo com as recomendações descritas por SANTOS et al. (2005). Foram coletadas amostras de solo deformadas e não deformadas nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. As amostras deformadas, obtidas com auxílio de pá, trado, conforme o caso, foram reservadas à caracterização física do solo. Já as amostras não deformadas, coletadas com auxílio de cilindro volumétrico (volume  $\cong$  100 cm<sup>3</sup>), inserido ao solo utilizando o amostrador tipo Uhland, foram destinadas aos ensaios de condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat).



**Figura 2.** Aspecto da área após ação de queimadas e com o plantio de palma forrageira



Fonte: O Autor (2020).

**Figura 3.** Área em pousio com presença de herbáceas



Fonte: O Autor (2020).



**Figura 4.** Área com Caatinga preservada há 10 anos



Fonte: O autor (2020).

Diante das características do solo apresentada na Figura 5, conforme Souza et al. (2010), o solo em estudo foi identificado como Cambissolo háplico Tb Eutrófico típico, indicado pela presença de minerais primários na fração grosseira e de fragmentos de rocha semi-intemperizada ao longo do perfil.

**Figura 5.** Representação do perfil de um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico da área de estudo.



Fonte: O autor (2020).

O perfil foi aberto para classificação morfológica dos solos, destacando-se pouca diferença entre os horizontes, exceto no C, onde se observou ação de intemperismo, com fragmentos de rocha. Estudos realizados por Jacomine et al. (1973) e Ferraz et al. (1998) citam para a região de Triunfo solos com associação de Cambissolo Eutrófico Latossólico e Solos Litólicos Eutróficos.

Para a realização das coletas em cilindro volumétrico, foram levadas em consideração o número de repetições (três), profundidade (duas) e áreas (três), sendo totalizadas 18 amostras ( $3 \times 2 \times 3$ ). Com relação a quantidade de amostras deformadas, foram coletadas as mesmas quantidades correspondentes aos cilindros volumétricos, coletadas via pá de jardinagem e colocadas em sacos plásticos, devidamente identificados. Estas amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras com diâmetro de 2 mm de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA).

### 4.3 Ensaios para a determinação dos parâmetros físico-hídricos do solo

#### 4.3.1 Análise granulométrica dos solos

Para a realização da análise granulométrica das partículas sólidas do solo foi utilizado o método do densímetro, proposto por Gee e Or (2002), com alterações sugeridas em Almeida (2008), descritas a seguir.

Foram utilizadas 50 g de solo (TFSA), transferidas para garrafa plástica de 500 mL, adicionando-se 50 mL de água destilada e 25 mL de solução dispersante ( $\text{NaOH } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ ), utilizando-se agitador orbital do tipo Wagner, com agitação por 16 horas a 50 rpm. O resultado da areia total foi obtido pelo peneiramento úmido, em uma peneira com malha de 0,053 mm. Para a fração argila, a suspensão foi lida utilizando-se o hidrômetro de Bouyoucos (152H), após 24h de repouso, tempo para que ocorresse a sedimentação do silte, sendo seu valor obtido por diferença, conforme a Equação 1.

$$\text{Silte (\%)} = 100 - (\text{Areia Total (\%)} + \text{Argila Total (\%)}) \quad (1)$$

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada pelo mesmo procedimento, entretanto, sem o uso da solução dispersante (NaOH), com dispersão natural em água. De posse dos valores da argila total e ADA, o grau de flocculação (GF) foi calculado pela Equação 2.

$$\text{GF (\%)} = \left( \frac{\text{Argila total} - \text{Argila dispersa em água}}{\text{Argila total}} \right) \times 100 \quad (2)$$

#### 4.3.2 Condutividade hidráulica saturada

Os ensaios para a determinação da  $K_{\text{sat}}$  foram realizados em condições de laboratório, utilizando-se amostras coletadas em cilindro volumétrico (conjunto cilindro-amostra), aplicando-se o método de carga constante, por meio de um equipamento alternativo aos tradicionais permeâmetros. O equipamento foi registrado como Patente de Invenção, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), com o



título “Permeâmetro contínuo de carga constante e decrescente para determinação de condutividade hidráulica em meios porosos”, sob o número BR1020200132024 (ALMEIDA et al., 2020).

Uma das vantagens do uso do citado permeâmetro é a preservação da estrutura da amostra, que permanece fixa no permeâmetro durante os ensaios, desde a saturação da amostra até a conclusão da coleta de dados. Para tanto, o permeâmetro tem um compartimento específico para acomodar o conjunto cilindro-amostra, sendo este confinado axialmente e fixado entre o compartimento e uma tampa superior. Nestas condições, a amostra é saturada (24 h), e em seguida recebe a carga hidráulica constante, mantida por uma garrafa de Mariotte, até que se caracterize o estado de equilíbrio dinâmico, onde as leituras do volume infiltrado sob carga hidráulica aplicada mantêm-se constante. Maiores detalhes sobre o permeâmetro, procedimentos e metodologia podem ser obtidos em Santos (2020). Desse modo, de posse dos dados gerados durante os ensaios, a medida quantitativa da  $K_{sat}$  foi obtida por meio da aplicação da equação de Darcy (TEIXEIRA et al., 2017), que após ajustes, é apresentada como Equação 3.

$$K_{sat} \text{ (cm h}^{-1}\text{)} = \left[ \frac{V_a \times L}{A \times t \times (h+L)} \right] \quad (3)$$

em que:  $K_{sat}$  é expressa em  $\text{cm h}^{-1}$ ;  $V_a$  - o volume de água coletado ( $\text{cm}^3$ );  $L$  - altura da coluna de solo (cm);  $t$  - tempo de coleta (h);  $A$  - área da secção transversal ( $\text{cm}^2$ );  $h$  - carga hidráulica, representada como a lâmina de água acima da superfície do solo (cm).

### 4.3.3 Densidade de partícula sólidas do solo

A densidade de partículas sólidas do solo ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do picnômetro, conforme Viana et al. (2017), no qual se utiliza solo seco em estufa ( $105^\circ\text{C}$ ) em um picnômetro, adicionando-se água desaerada. Na sequência, o conjunto picnômetro-amostra é levado para um dessecador, onde se aplica um vácuo ( $\cong 1 \text{ atm}$ ) por 30 minutos, pesando-se em seguida o conjunto. De posse dos dados gerados no ensaio, a  $D_p$  é calculada conforme Equação 4.

$$D_p \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{m_{sólidos}}{V_{sólidos}} = \frac{(m_{p+s} - m_p)}{[(m_{p+a} - m_p) - (m_{p+s+a} - m_{p+s})] / d_a} \quad (4)$$

em que:  $D_p$  é expressa em  $\text{g cm}^{-3}$ ;  $m_{sólidos}$  - massa de sólidos (g);  $V_{sólidos}$  - volume de sólidos ( $\text{cm}^3$ );  $d_a$  é a densidade da água, corrigida para a temperatura no momento da análise ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $m_{p+s}$  é a massa do conjunto picnômetro + amostra de solo seca a  $105^\circ\text{C}$  (TFSE) (g);  $m_p$  - massa do picnômetro seco (g);  $m_{p+a}$  - massa do conjunto picnômetro + água desaerada (g);  $m_{p+s+a}$  - massa do conjunto picnômetro + TFSE + água desaerada (g).

#### 4.3.4 Relação silte/argila

O grau de intemperismo que o solo se encontra pode ser expresso pela relação silte/argila, obtida a partir da divisão entre os dados das frações silte e argila total, obtidos na análise granulométrica do solo, conforme citado no item 4.3.1.

De posse desses valores, utilizou-se a análise descritiva dos dados, por meio estatístico do Software Microsoft Excel 2010, sendo calculado o número de classes ( $k$ ) e o  $n$ , que é o valor do número de dados avaliados, utilizando a equação de Sturges (Equação 5), conforme sugerido em Silva et al. (2019).

$$k = 1 + (3,33 \times \log n) \quad (5)$$

#### 4.4 Análise estatística

Os dados dos parâmetros físicos gerados para a avaliação dos sistemas de manejo foram submetidos a análise de variância de dupla classificação (Two-way ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey HSD a  $p < 0,05$ , bem como, análise de correlação de Pearson a  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e  $p < 0,10$ . Os dados foram analisados usando o software para Microsoft Excel, XLSTAT (versão 2019.3.2) (ADDINSOFT, 2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão dispostos os valores médios dos parâmetros físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo, nas profundidades de 0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Nota-se que, o resultado da Ksat foi significativamente maior na área de Caatinga (9,66 cm h<sup>-1</sup>), com relação as áreas com plantas herbáceas (7,04 cm h<sup>-1</sup>) e palma (6,21 cm h<sup>-1</sup>), sendo este último, o menor resultado obtido.

**Tabela 1.** Parâmetros físicos do solo sob diferentes sistemas de uso, nas profundidades 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m

Variáveis	Sistemas de Uso						Profundidade			
	Caatinga		Herbácea		Palma		0-0,10		0,10-0,20	
Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,68	A	2,66	A	2,42	A	2,51	a	2,65	a
U (%)	5,45	B	6,88	AB	8,53	A	7,20	a	6,70	a
Areia (%)	74,72	A	71,48	AB	63,24	B	69,81	a	69,81	a
Silte (%)	14,80	A	14,77	AB	17,65	A	15,74	a	15,74	a
Argila Total (%)	10,50	C	13,75	B	19,11	A	14,45	a	14,45	a
ADA (%)	7,48	C	10,73	B	17,08	A	11,77	a	11,77	a
GF (%)	29,13	A	21,87	AB	9,93	B	20,32	a	20,32	a
GD (%)	70,86	B	78,12	AB	90,10	A	79,68	a	79,70	a
R s/a (%)	1,42	A	1,08	AB	0,95	B	1,15	a	1,15	a
Ksat (cm h <sup>-1</sup> )	9,66	A	7,04	AB	6,21	B	7,51	a	7,77	a

Dp = Densidade de partícula do solo, U = Umidade gravimétrica, ADA = Argila dispersa em água, GF = Grau de floculação, GD = Grau de dispersão, R s/a = Relação silte e argila, Ksat = Condutividade hidráulica saturada do solo. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$  para os diferentes manejos do solo estudado. Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$  entre as profundidades.

Destaca-se que na área de palma as prováveis causas pelo menor resultado ocorreram pelas ações humanas, por meio da queima da vegetação, com o propósito de facilitar a retirada de troncos de árvores e plantas espontâneas, para em seguida, dar-se o início ao plantio da palma; outras ações são o pisoteio animal e solo descoberto, podendo-se causar erosão do solo. Estas ações antrópicas, contribuem veemente para a compactação do solo e, conseqüentemente, redução das classes de poros maiores, que têm a função de promover de forma rápida a infiltração da água no solo.

Apesar de não apresentarem significância estatística, os valores da densidade de partícula (Dp) entre os sistemas de manejo foram maiores para área de Caatinga (2,68 g cm<sup>-3</sup>), com 2,66 g cm<sup>-3</sup> para a área herbáceas e 2,42 g cm<sup>-3</sup> para a palma, valores estes dentro da faixa mais comum de ocorrência, como observado na literatura. De fato, Weil e Brady (2017) enfatizam que para a maioria dos solos, os valores da Dp se alteram entre os intervalos de 2,60 e 2,75 g cm<sup>-3</sup>, correspondentes a densidade do quartzo, feldspato e silicatos coloidais, como ocorre na área de estudo. Sobre isso, pesquisa realizada por Souza et al. (2010) na mesma área de estudo (Triunfo – PE), indica que os valores da Dp variaram de 2,58 a 2,74 g cm<sup>-3</sup> para um Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico, corroborando os resultados aqui apresentados.

Por outro lado, Abraão et al. (2015) estudando um Cambissolo Húmico, observaram que em seus resultados a Dp variou entre 2,43 a 2,58 g cm<sup>-3</sup>. Já Costa (2004) destaca que os valores médios da Dp chegam em torno de 2,65 g cm<sup>-3</sup>. Segundo Santos et al. (2010b), em um estudo de topossequência em Pinheiro – RJ, destacaram que a Dp está relacionada com a sua mineralogia do material de origem, que, neste caso, se tem muscovita-biotita gnaiss, contribuindo com minerais como quartzo e micas.

Na Tabela 2 observa-se a análise de variância (ANOVA) para os efeitos dos sistemas de uso e profundidades na degradação de áreas remanescentes da Caatinga em Triunfo – PE. Analisando os dados, observa-se que não houve efeito significativo de interação entre os sistemas de uso e profundidades ( $p > 0,05$ ); e nesse caso, apenas os efeitos principais dos tratamentos foram discutidos. Não houve efeito significativo entre as profundidades (0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m) analisadas ( $p > 0,05$ ); entretanto, os sistemas de uso (Caatinga, palma e herbácea) apresentaram efeitos variados dentre os parâmetros físicos analisados ( $p < 0,05$ ). Assim, os parâmetros umidade gravimétrica (U) ( $P = 0,009$ ), areia ( $P < 0,0001$ ), argila total (AT) ( $P < 0,0001$ ), argila dispersa em água (ADA) ( $P < 0,0001$ ), grau de floculação (GF) ( $P = 0,033$ ), grau de dispersão (GD) ( $P = 0,033$ ), relação silte/argila total (S/AT) ( $P = 0,011$ ) e condutividade hidráulica saturada (Ksat) ( $P = 0,030$ ) apresentaram significância estatística entre os sistemas de uso avaliados. Apenas as variáveis densidade de partícula (Dp) e fração silte não apresentaram efeitos significativos ( $P > 0,05$ ) dentre os sistemas de uso (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados da ANOVA para os efeitos dos sistemas de uso, profundidades e interação dos parâmetros físicos do solo nas áreas estudadas

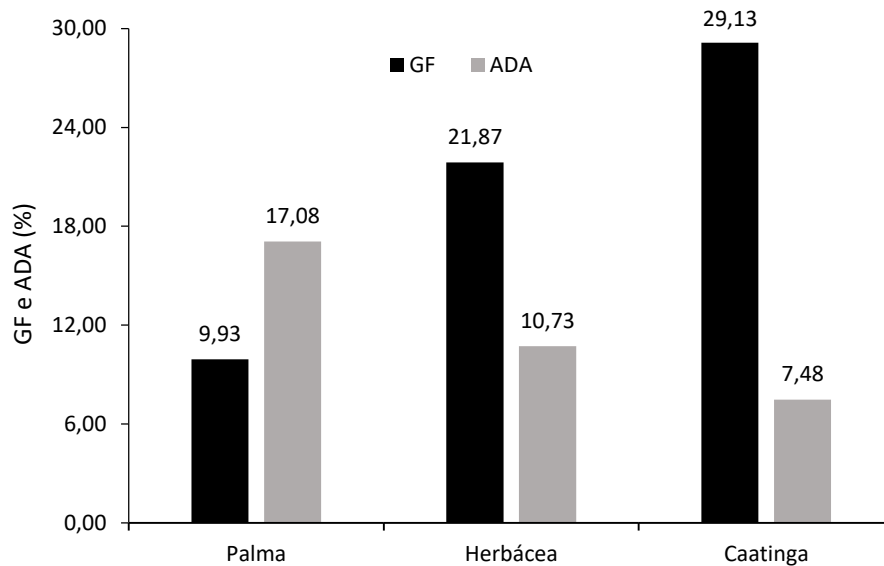
Fonte de Variação	GL	Dp	U	Areia	Silte	AT	ADA	GF	GD	S/AT	Ksat
		P-valor									
Sistemas de Uso (S)	2	0,244	0,009*	< 0,0001*	0,085	< 0,0001*	< 0,0001*	0,033*	0,033*	0,011*	0,030*
Profundidade (P)	1	0,312	0,464	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,785
Interação (S × P)	2	0,257	0,115	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,073

Dp = Densidade de Partícula; U = Umidade Gravimétrica; AT = Argila Total; ADA = Argila Dispersa em Água; GF = Grau de Floculação; GD = Grau de Dispersão; S/AT = Relação Silte/Argila Total; Ksat = Condutividade Hidráulica do Solo. \* Indica efeito significativo pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$ .

A respeito do grau de floculação – GF (Figura 6) observa-se que os valores obtidos neste estudo foram 29,13%, 21,87% e 9,93%, para as áreas ocupadas por Caatinga, herbáceas e palma, respectivamente. Esses menores valores do GF para áreas sob herbáceas e, principalmente, palma sugerem influência das práticas agrícolas de pré-plantio adotadas na região, a exemplo das queimadas, como abordado por Ferreira et al. (2010). Esses autores avaliaram a provável interferência das queimadas sobre os resultados do GF dos solos, em estudo com áreas de pastagens e manejos distintos, e observaram que o maior valor do GF foi na área de pasto sem queima, seguido de pasto com queima e pasto recuperado. Os autores argumentaram que tais diferenças ocorrem pela condição química do solo, especialmente pelas alterações do pH, que influencia

as cargas superficiais do solo (argila, óxidos de ferro e de alumínio e matéria orgânica). Levy et al. (1993) acrescentaram que o manejo do solo incorreto, associado ao preparo, podem aumentar a dispersão da argila, o que piora as condições físicas dos solos, como a diminuição da sua qualidade estrutural.

**Figura 6.** Comportamento da argila dispersa em água (ADA) em relação ao grau de floculação (GF), para os três sistemas de uso do solo



Fonte: O autor (2020).

Esse fato também foi comprovado em Santos et al. (2010b), que identificaram valores elevados de argila dispersa em água (ADA), simultaneamente com o baixo grau de floculação (GF), para os solos estudados, com exceção dos horizontes mais profundos. Os autores enfatizam que os baixos valores do GF para os horizontes mais superficiais favorecem a remoção seletiva das argilas e o mecanismo de translocação.

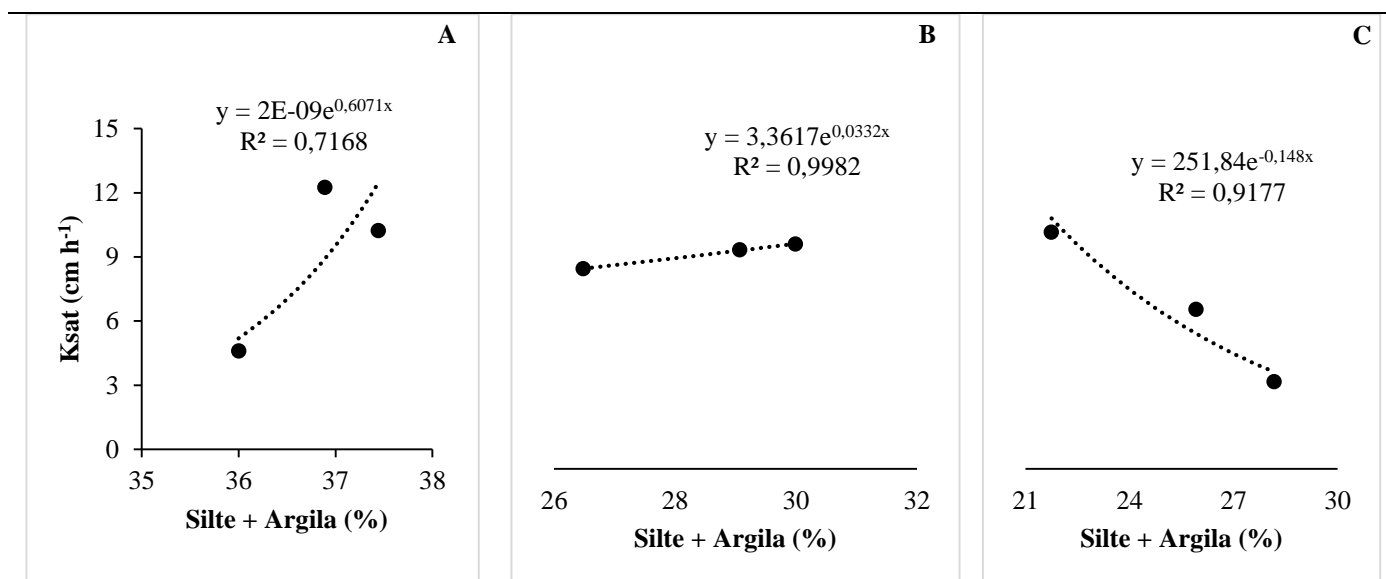
Estes resultados podem indicar um processo de degradação dos solos estudados na presente pesquisa, principalmente na área sob cultivo de palma, com GF = 9,93 %, pois, nestas condições, a fração argila tem maiores condições de ser translocada, já que apresenta um alto grau de dispersão (GD), com valores em torno de 90% (Tabela 1). Realmente, como fundamentado por Azevedo e Bonuma (2004), o processo de desagregação das partículas do solo geralmente é decorrente da dispersão, espontânea, da fração argila em água, que é uma parte da argila total considerada como indicador do potencial para os colóides minerais do solo serem mobilizados. Assim, quanto maior for a quantidade de ADA maior será a erodibilidade do solo, uma vez que esta fração da argila do solo tem, potencialmente, maior mobilidade.

Valores encontrados por Mota et al. (2015) em um Cambissolo, sob área de mata nativa e cultivo de Bananeira, identificaram que há deposição de matéria orgânica, e os resíduos da bananeira e da vegetação contribuíram para o aumento da floculação das argilas, destacando que os baixos valores de GF estão atribuídos aos elevados teores de sódio. Neste sentido, Albuquerque et al. (2005), estudando um Latossolo

Vermelho distroférico muito argiloso, associaram os valores de GF, nas camadas superiores do solo, à ação conjunta da matéria orgânica, atividade microbiana, sistema radicular e concentração de cátions trocáveis e pela ação dos ciclos de umedecimento e secagem.

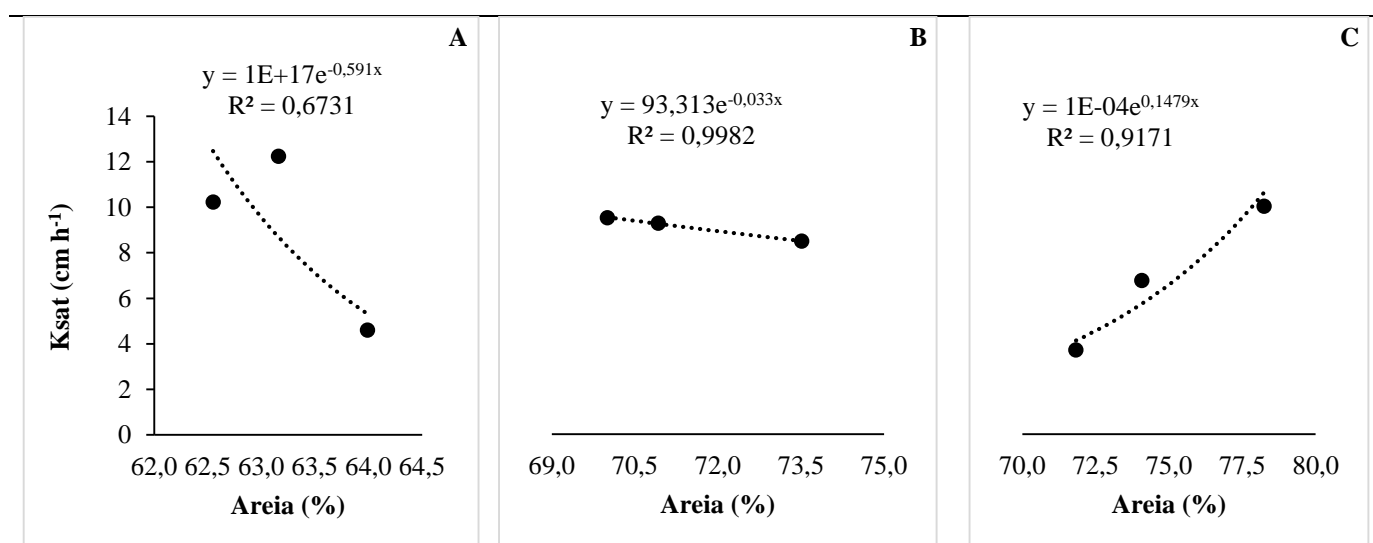
A dependência da Ksat em relação a textura do solo tem sido bem documentada (HILLEL, 1980). Neste sentido, observa-se nas Figuras 7 e 8 as regressões não lineares com ajuste exponencial entre as frações granulométricas (silte + argila e areia, respectivamente) e os valores de Ksat à 0,20 m.

**Figura 7.** Variação da condutividade hidráulica saturada do solo em função da quantidade das frações silte + argila: A) área sob palma; B) área sob herbácea; C) área sob Caatinga



Fonte: O autor (2020).

**Figura 8.** Variação da condutividade hidráulica do solo em função em função da quantidade da fração areia: A) área sob palma; B) área sob herbácea; C) área sob Caatinga



Fonte: O autor (2020).

Podemos observar na Figura 7C, área sob Caatinga, que há uma diminuição nos valores da Ksat em virtude do aumento da quantidade das frações silte + argila, cujo ajuste gerou um coeficiente de

determinação ( $R^2$ ) de 0,9177. Em contra partida, nas áreas de palma e herbácea (Figura 7A e 7B, respectivamente), observa-se uma relação direta entre os valores de  $K_{sat}$  e os de silte + argila na qual, o aumento dessas frações, implica em acréscimo da  $K_{sat}$ . Nessas áreas, os valores de  $R^2$  obtidos foram 0,7168, para o cultivo de palma e 0,9982, para a sob herbácea.

Entretanto, esses resultados divergem do constatado tradicionalmente pela literatura, como observado em Pinheiro et al. (2017). Esses autores avaliaram o comportamento na dinâmica da água em unidades geotécnicas de Santa Maria-RS em função da composição granulométrica, cimentação e estruturas sedimentares. Os autores destacaram que a presença de materiais mais finos (silte + argila) em relação à fração areia podem resultar em valores mais baixos de permeabilidade, confirmados pelos menores valores da  $K_{sat}$ . A aparente discrepância da relação direta entre a  $K_{sat}$  e as frações silte + argila pode ser justificada pelo tipo da fração argila encontrada nas áreas cultivadas com palma e herbácea, que difere daquela da área sob Caatinga, fato confirmado pelos valores do grau de dispersão dessas áreas.

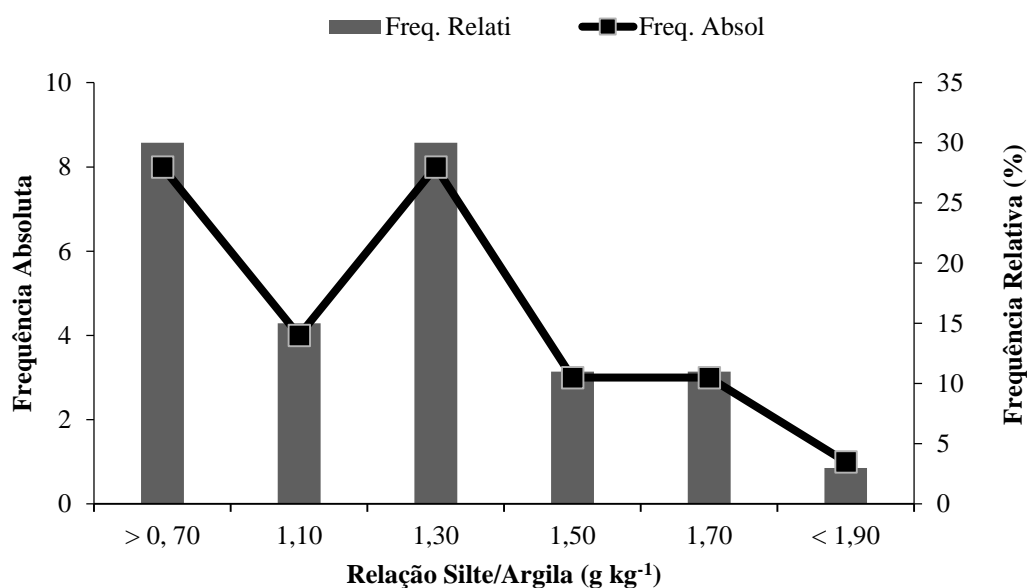
Para a obtenção dos gráficos da Figura 7 foram utilizados valores de argila total, onde todas as argilas presentes no solo (incluindo aquelas naturalmente dispersa e flocoadas em água) são dispersas pela ação do agente químico (NaOH). Além disso, os valores da fração silte não apresentaram efeitos significativos ( $P > 0,05$ ) dentre os sistemas de uso, o que pode ter contribuído para tal discrepância. Outro fato a justificar esses resultados pode estar relacionado ao preparo do solo, manualmente com uso de enxada, o que pode levar a melhoria da estrutura ou porosidade superficial do solo. Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, tipos de equipamentos utilizados, manejo dos resíduos vegetais e condições do solo no momento do preparo (VIEIRA, 1985).

Com relação a Figura 8, onde se avalia a variação da  $K_{sat}$  em função da quantidade da fração areia, pode-se observar que ocorreu comportamento inverso ao verificado na Figura 7. Nota-se que, para as áreas sob palma (Figura 8A) e herbácea (Figura 8B), há uma tendência de diminuição nos valores de  $K_{sat}$  devido aos valores da fração areia serem menor, com valores de  $R^2$  iguais a 0,6731 e 0,9982, respectivamente. Já para a área sob Caatinga (Figura 8C), os valores de  $K_{sat}$  aumentaram juntamente com os valores de areia, com  $R^2$  igual a 0,9171. De acordo com Gupta et al. (2020), os valores de  $K_{sat}$  aumentam com o conteúdo da fração areia, o que ratifica o comportamento hídrico dos solos da área sob Caatinga, confirmado pelos valores médios de  $K_{sat}$  e fração areia mostrados na Tabela 1.

A Figura 9 refere-se à frequência encontrada para a relação silte/argila. Pode-se observar que os valores  $> 0,70 \text{ g kg}^{-1}$  e  $1,30 \text{ g kg}^{-1}$  corresponderam às maiores frequências relativas no valor de 30% respectivamente. Destaca-se o valor de  $< 1,90 \text{ g kg}^{-1}$  da relação silte/argila, ao qual teve uma frequência de 3% comparada aos demais valores. Tais valores podem estar associados ao grau de intemperismo presente em solos de regiões tropicais, como abordado por Silva et al. (2019). Segundo estes autores, este indicador evidencia baixos teores de silte e, portanto, alto grau de intemperismo, quando apresenta, em grande parte

do horizonte B, valor inferior a 0,7 nos solos de textura média ou inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa ou muito argilosa. Os valores de frequência absoluta e relativa da relação silte/argila encontrados por estes autores para os solos da região semiárida do Nordeste estavam na faixa entre  $< 1,04 \text{ g kg}^{-1}$  a  $8,56 \text{ g kg}^{-1}$  para frequências entre 51% a 0%. Na pesquisa, os autores utilizaram 415 amostras da região semiárida, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, destacando-se que os valores apresentados resultam de um processo de intemperização, mas não sendo possível identificar o nível de intemperismo.

**Figura 9.** Frequência absoluta e relativa da relação silte/argila na textura do solo



Fonte: O autor (2020).

Souza et al. (2010) realizaram a caracterização de solos em uma topoclimossequência no município de Triunfo, localizado no sertão de Pernambuco. Segundo estes autores, os valores encontrados para a relação silte/argila variaram entre 0,89 a 1,60 na camada superficial do solo, sendo estes valores compatíveis para o baixo grau de intemperismo dos Cambissolos, corroborando os valores aqui encontrados (Tabela 1), que variaram entre 0,95 (área sob palma) a 1,42 (área sob Caatinga).

No estudo realizado por Rolim Neto et al. (2009) no Estado de Minas Gerais, em Cambissolos com texturas distintas, foram identificados valores da relação silte/argila variando entre 0,39 e 0,68, para o Cambissolo de textura argilosa; e 5,24 a 8,75 para o de textura franco-siltoso. Os autores enfatizam que os baixos valores da relação silte/argila para este Cambissolo argiloso (horizontes A = 0,39; Bi = 0,44 e BC = 0,68) são consequências do seu material de origem, tufito de grão mais fino, que, por ser préintemperizado, formam assim maior quantidade de argila, já que a rocha se encontra bastante alterada.

Ainda sobre a influência do material de origem na relação silte/argila, Santos et al. (2010b) destacaram que os elevados teores da fração areia, resulta na maior resistência do material de origem



(gnáissico) ao intemperismo, correlacionada a composição mineralógica, com valores da relação silte/argila próximos ou superiores a 0,6.

Na Tabela 3 estão dispostos os agrupamentos referentes aos parâmetros físicos do solo estudados, sendo eles arranjados por meio da matriz do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), com significância a 1, 5 e 10%. De acordo com Dancey e Reidy (2006), que sugeriram uma classificação para esse coeficiente, valores de  $r$  entre 0,10 e 0,30 são classificados como fraco, aqueles entre 0,40 e 0,60, moderado e para valores  $> 0,70$ , têm-se forte correlação entre os atributos avaliados.

Observa-se que na matriz produzida a relação entre os valores da argila dispersa em água (ADA) e da argila total apresentou forte correlação entre si, com valor igual a 0,96, a 1%, podendo-se assumir que este alto grau de significância representa bem a real associação entre esses atributos (KLEIN et al., 2015). Neste caso, esta alta correlação pode ser justificada pelos processos de agregação que envolvem tais atributos. Neste sentido, Freitas (2011) afirmam que a ADA está associada a estabilidade de agregados e a susceptibilidade do solo a erosão hídrica, podendo-se assim usar tais dados para avaliar o impacto da ação antrópica em áreas como estas aqui estudadas.

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre os parâmetros físicos do solo, avaliados nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, sob diferentes sistemas de manejo

Variáveis	Dp	U	Areia	Silte	AT	ADA	GF	GD	S/AT	Ksat
Dp	1									
U	-0,41***	1								
Areia	0,41***	-0,57**	1							
Silte	-0,14	0,35	-0,73*	1						
AT	-0,47***	0,55**	-0,91*	0,40	1					
ADA	-0,40	0,54**	-0,97*	0,56**	0,96*	1				
GF	0,09	-0,28	0,80*	-0,83*	-0,58**	-0,77*	1			
GD	-0,09	0,28	-0,80*	0,83*	0,59**	0,77*	-0,99*	1		
S/AT	0,40	-0,43***	0,51**	0,19	-0,81*	-0,65*	0,11	-0,11	1	
Ksat	0,20	0,01	0,42***	-0,21	-0,44***	-0,47***	0,41***	-0,41***	0,36	1

Dp = densidade de partícula; U = umidade gravimétrica; AT = argila total; ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; GD = grau de dispersão; S/AT = relação entre os teores de silte e argila total; Ksat = condutividade hidráulica do solo. Significante: (\*)  $p < 0,01$ ; (\*\*)  $p < 0,05$ ; (\*\*\*)  $p < 0,10$ .

Outra correlação que teve valor de  $r > 0,70$ , e com significância a 1%, foi entre os atributos grau de dispersão (GD) e fração silte, com  $r = 0,83$ , apresentando, portanto, forte correlação positiva entre si. Esses dois atributos podem ser usados para avaliar o grau de intemperismo no solo e a erodibilidade do solo. Esse alto coeficiente, aliado aos valores de silte e GD da Tabela 1, sugerem que a área sob palma (com  $\cong 18\%$  de silte e 90 % de GD) é a área mais degradada, comprovado pelo mais baixo valor da Ksat (6,21 cm h<sup>-1</sup>). Nesta mesma linha de argumento, pode-se afirmar que a área sob Caatinga reúne valores de silte e GD

(Tabela 1) que lhe conferem a melhor condição estrutural entre as três áreas, confirmado pelo maior valor de  $K_{sat}$  ( $9,66 \text{ cm h}^{-1}$ ).

Seguindo esta tendência, observa-se que o GD, juntamente com o grau de floculação (GF) são dados composicionais e apresentaram um ótimo resultado, confirmado pelo valor de  $r = 0,99$  (a 1%). A floculação das partículas de argila do solo é um processo que ocorre a partir do momento que estas partículas se aglomeram e vão se formando microagregados com diâmetros maiores. Por outro lado, o processo de dispersão das partículas de argila do solo ocorre quando tais partículas em suspensão se desagrega, entre si e das demais partículas sólidas do solo, devido às cargas elétricas envolvidas no fenômeno: cargas permanentes (negativas) e dependentes de pH (também negativas, devido ao pH alcalino do solo). Albuquerque et al. (2002) enfatizam que a redução do GF da argila se deve, provavelmente, à maior repulsão das partículas que apresentam carga variável com o pH. Nestas condições, fica evidente que os solos que possuem altos valores de GD, e por conseguinte baixos GF, estão sujeitos a alta erodibilidade e conseqüentemente lixiviação dos nutrientes do solo, o que comprova a utilização desses atributos como indicadores de degradação de solos.

Assim, Spera et al. (2008) ressaltam que o GF acompanha de modo inverso o teor de ADA, indicando que houve desestabilização dos agregados. Reis et al. (2019) evidenciam que a análise da ADA, reflete no GD e de GF, e estes, por sua vez, influenciam na agregação das partículas do solo. Desse modo, estes parâmetros são importantes para os estudos da condutividade hidráulica do solo para análise da conservação e avaliação da degradação do solo sob diferentes sistemas de manejo.

Outras correlações significantes (10 %), mas classificadas como moderada (DANCEY e REIDY, 2006) também foram observadas, como aquela entre o silte e a ADA ( $r = 0,56^{**}$ ), e entre a  $D_p$  e a areia ( $r = 0,41$ ). Neste último caso, o resultado pode estar associado ao fato da  $D_p$  está diretamente relacionada à mineralogia do solo, frações de quartzo. Assim, Ferreira (2010) ressalta que a densidade de partículas é um atributo físico estável e sua grandeza depende unicamente da composição das partículas sólidas.

Quanto aos coeficientes de Pearson entre os valores de  $K_{sat}$  e demais variáveis analisadas (Tabela 3), pode-se observar que os valores foram significativos, e positivos, para os atributos fração areia ( $r = 0,42^{***}$ ) e GF ( $r = 0,41^{***}$ ); e significativos, mas negativos, para argila total ( $r = -0,44^{***}$ ), ADA ( $r = -0,47^{***}$ ) e GD ( $r = -0,41^{***}$ ), sendo todos coeficientes classificados como moderado ( $0,40 \leq r \leq 0,60$ ).

As correlações positivas entre  $K_{sat}$  e a fração areia, e  $K_{sat}$  e o GF, apontam uma relação direta entre eles, onde menores valores de areia e GF promovem diminuição nos valores da  $K_{sat}$ , como indicado na Tabela 1, comprovando o menor valor de  $K_{sat}$  para a área sob palma ( $6,21 \text{ cm h}^{-1}$ ), como já discutido anteriormente. De fato, estes atributos estão correlacionados com a dinâmica da água no solo, que é avaliada, de modo quantitativo, pela  $K_{sat}$ , e quanto maior for a quantidade da fração areia e de argilas floculadas (GF), maior será a permeabilidade da água por entre os poros do solo. Sobre isso, Aguiar (2008)

ênfatisa que a condutividade hidráulica do solo apresenta valores mais elevados para solos com presença de poros maiores, de agregados ou de fraturas, possuindo o menor valor para solos densos e compactados.

Por outro lado, as correlações negativas entre  $K_{sat}$  e a argila total (AT), ADA e GD indicam que quanto menores forem seus valores maiores serão os da  $K_{sat}$ , como pode ser visto na Tabela 1. Realmente, os menores valores de AT, ADA e GD foram, respectivamente, 10,50%, 7,48% e 70,86%, todos relativos à área sob Caatinga, conferindo-lhe o maior valor de  $K_{sat}$  entre as áreas (9,66 cm h<sup>-1</sup>). Estes resultados, como abordado anteriormente, ratificam a melhor qualidade física do solo da área sob Caatinga.

Desse modo, os resultados aqui apresentados sugerem que a intervenção antrópica nas áreas remanescentes da Caatinga, no distrito de Carnaubinha, Triunfo-PE, que está sendo cultivada na área de palma e a outra metade da área encontra-se em pousio com presença de herbácea, promovem a diminuição da qualidade física do solo dessas áreas, principalmente aquela sob cultivo de palma.

Espera-se que os resultados gerados nesta pesquisa possam nortear o monitoramento e manejo de outras áreas sob tais cultivos, mudando as práticas culturais atualmente adotadas na região (queimadas, por exemplo), evitando aquelas que provavelmente devem contribuir negativamente para a degradação do solo da região.

## 6 CONCLUSÕES

Com os dados gerados nesse estudo foi possível diagnosticar o grau de degradação de áreas remanescentes da Caatinga em Triunfo – PE, tanto por meio da condutividade hidráulica saturada como via outros atributos físicos do solo, que também foram utilizados para avaliar o efeito do uso dessas áreas na dinâmica da água nos solos sob cultivo de herbáceas e palma. Assim, as principais conclusões da pesquisa foram:

- 1) Os valores da condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ) obtidos nas áreas de Caatinga, herbácea e palma foram, respectivamente, 9,66, 7,04 e 6,21,  $\text{cm h}^{-1}$ , indicando a Caatinga e a palma como áreas de menor e maior degradação, nessa ordem, sendo a sob herbáceas a área intermediária.
- 2) Os valores da fração areia e grau de flocculação da fração argila, em todas as áreas, apresentaram correlações altamente significativas e positivas com os da  $K_{sat}$ ; ratificando a ordem crescente de degradação: Caatinga < herbácea < palma.
- 3) Os valores da fração argila total, argila dispersa em água e grau de dispersão nas áreas estudadas, apresentaram correlações altamente significativas e negativas com os da  $K_{sat}$ ; sugerindo que os efeitos negativos do uso das áreas remanescentes foram maiores na palma, seguindo-se da herbáceas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAÃO, S. F.; SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; EBLING, Â, A. Impacto do florestamento com *pinus taeda l.* na porosidade e permeabilidade de um Cambissolo húmico. **Revista Árvore**, v. 39, n.6, p. 1073-1082, 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000600010.
- ADDINSOFT, XLSTAT 2019: **Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel**. 2019.
- AGUIAR, M. I. de.; Qualidade Física do solo em sistemas agroflorestais. Dissertação (Pós-graduação em Solos e Nutrição de plantas), Viçosa, UFV. Minas Gerais, 2008.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER C.; WILDNER, L. DO P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, no.3, 2005. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832005000300012](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000300012)>.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 1065-1073, 2002.
- ALMEIDA, B. G. de. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), ESALQ, USP. São Paulo, 2008.
- ALMEIDA, B. G.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SANTOS, E. M. S.; MAIA, A. J.; SILVA, T. H. S. “Permeâmetro contínuo de carga constante e decrescente para determinação de condutividade hidráulica em meios porosos”, BR1020200132024, Jun 26, 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA, 2020. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>.
- ARCHER, N.; BONELL, M.; COLES, N.; MACDONALD, AM.; AUTON CA.; STEVENSON R. Soil characteristics and landcover relationships on soil hydraulic conductivity at a hillslope scale: a view towards local flood management. **Journal of Hydrology**, v. 497, p. 208–222, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.043>>.
- AZEVEDO, A. C.; BONUMA, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000200046>
- BAGARELLO, V.; D’ASARO, F.; LOVINO, M. A field assessment of the Simplified Falling Head technique to measure the saturated soil hydraulic conductivity. **Geoderma**, V. 187-188, p. 49-58, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.04.008>>.
- BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A.; ANDRADE, A. P.; SALCEDO, I. H. Forage yield and quality of a dense thorny and thornless “jurema-preta” stand. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 341-347, 2007.
- BAKKE, I.A.; BAKKE, O.A.; ANDRADE, A.P.; SALCEDO, I.H. Forage yield and quality of a dense
- BEERTEN, K.; DEFORCE, K.; MALLANTS, D. Landscape evolution and changes in soil hydraulic properties at the decadal, centennial and millennial scale: A case study from the Campine area, northern Belgium. **Catena**, v. 95, p.73–84, 2012.

- BERNOUX M, ARROUAYS D, CERRI C, VOLKOFF B, JOLIVET C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Sci Soc Am J.**, v. 62, n. 3, p.743-749, 1998.
- CASTELLETTI, C.H.M.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A.M.M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. P. 91-100. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.
- CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. da. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 137-147, 2006.
- CENTURION, J. F.; Cardoso, J. P.; Natale, W. Efeitos de forma de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- COSTA, J. B. **Caracterização e contituição do solo**, 7 ed, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. 527. 2004.
- DA SILVA, A.P.; TORMENA, A.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores de qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 241-281, 2010.
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. (2006). Estatística sem matemática: Usando SPSS para Windows. (L. Viali, Trad.). Porto Alegre: Artmed.
- DONTSOVA, K. M; HAYES, C.; PENNINGTON, J.C.; PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. **Journal of environmental quality**, v. 38, n. 4, p. 1458-1465, 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, p. 83, 1979.
- FAO - **Food and Agricultural Organization**. Global Forest Resources Assessment, How are the World's Forests Changing, Rome, Italy, p. 44, 2016.
- FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PEREIRA, R. DE C. A. Composição florística em trechos de vegetação de Caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Revista brasil. Bot.**, v. 21, n. 1, p. 7-15, 1998.
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M.; RALISCH, R. Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em cambissolo. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 31, n. 3, p. 531-538,2010. DOI:10.5433/1679-0359.2010v31n3p531
- FONTINELE, N. M. Comparação entre a produtividade e análise econômica de clones de Eucalyptus Spp. em sistemas de alto fuste e talhadia no polo gesseiro do Araripe – PE. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Pernambuco- UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 62p. 2016.
- FRÁGUAS, L. M.; GARCIA, R. A. Análise estatística para comparação das classes de perfis de solo do estado do Acre. **Cadernos do Leste**. Belo Horizonte, v. 10, n. 10, 2010.
- FREITAS, R. C. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom**. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

- GAO, X.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, J.; SHI, Y. Effects of land use on soil moisture variations in a semi-arid catchment: implications for land and agricultural water management. **Land Degradation & Development**, v. 25, p. 163–172, 2014. DOI:10.1002/ldr.1156.
- GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., eds. Methods of soil analysis. Physical methods. Madison, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, p. 255-293, 2002.
- GIONGO, V.; CUNHA, T.J.F.; MENDES, A.S.M.; GAVA, C.A.T. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1233-1253, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4.6.p1233-1253> >.
- GONÇALVES, A. D. M. DE A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 1174-1184, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500007> >.
- GUPTA, S.; HENGL, T.; LEHMANN, P.; BONETTI, S.; OR, D. SoilKsatDB: global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. **Earth System Science Data Discussions**. v. 149, p. 1-26. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-2020-149>
- HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. Academic Press, Inc., 413 p., 1980. ISBN-10: 0123485606
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, **Censo Demográfico – 2018**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2018/POP2018\\_DOU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2018/POP2018_DOU.pdf)>.
- JACOMINE, P.K T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. **Bol. Tec. SUDENE 2**. 1973.
- KLEIN, C.; KLEIN, V. A.; LEVINSKI, F.; BORTOLANZA, D. R. Predição da condutividade hidráulica do solo saturado a partir de propriedades físicas do solo. *Vivências*. v. 1, n. 21, p.191-198. 2015.
- KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. – KÖPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): Handbuch der Klimatologie. – Gebruder Borntrager, Berlin, v. 1, p. 1–44, part C, 1936.
- LEAL, I.R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701–706, 2005.
- LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**, Baltimore, v. 155, n. 1, p. 15-22, 1993.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de.; SILVA, S. de A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de flocculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Rev. Árvore**, v. 37, n. 3, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000300017> >.
- LOURENÇO, V. R.; RAMOS, N. N. L. A.; COSTA, C. A. G. Distribuição espaço-temporal do NDVI sob condições de Caatinga preservada. **Espaço Aberto**, V. 6, N.2, p. 101-110, 2017. ISSN 2237-3071.
- MAROUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável na agricultura do Cerrado brasileiro**. 2003. 54f. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico). ISAE - FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.
- MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. Climate classification in köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)** v. 35, n. 3, 2018. ISSN 0104-5490.
- MMA - MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Caatinga: iniciativas de conservação 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/Caatinga/iniciativas-de-conservacao>>.

- MOTA, J. C. A.; ALENCAR, T. L. de.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Alterações físicas de um cambissolo cultivado com bananeira irrigada na Chapada do Apodi, Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, v.39, p.1015-1024, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcscs20140018.
- MUKUL, S.A., HERBOHN, J. The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in the tropics: a synthesis of the key findings and spatio-temporal distribution of research. **Environ. Sci. Policy**, v.55, p.167–177, 2016.
- MULLER, M. M. L. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.11, p.1409-1418, 2001.
- NAGAHAMA, H. DE J.; GRANJA, G. P.; CORTEZ, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S. Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. **Rev. Ceres**, v. 63, n.5, p. 741-746, 2016.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JÚNIOR, E. V.; MENEZES, R. Í. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob Caatinga no Semiárido Nordeste. **Revista Caatinga**, vol. 22, n. 1, p. 131-140, 2009. ISSN 0100-316X.
- PALACIO, H. A. de Q.; ANDRADE, E. M. de.; SILVA, J. P. da.; SANTOS, R. C. dos.; SOUZA, M. M. de O. Dinâmica sazonal da produção de biomassa herbácea em área de gramínea no semiárido do Brasil. **Conexão Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 5, p. 99 - 104, 2019. DOI: 10.21439/conexoes.v13i5.1794.
- PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. DE A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013. ISSN 1519 9940.
- PEREIRA FILHO, J.M.; VIEIRA, E.L.; KAMALAK, A.; SILVA, A.M.A.; CÉZAR, M.F.; BEELEN, P.M.G. Ruminal disappearance of *Mimosa tenuiflora* hay treated with sodium hydroxide. **Archivos de Zootecnia**, v. 56, n. 216, p. 959-962, 2007.
- PEREIRA FILHO, J.M.; VIEIRA, E.L.; SILVA, A.M.A.; CÉZAR, M.F.; AMORIM, F.U. Efeito do tratamento com hidróxido de sódio sobre a fração fibrosa, digestibilidade e tanino do feno da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Wild). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 1, p. 70-76, 2003.
- PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V.; RAUBER, A. C. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria – RS. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 347 – 363, 2017.
- PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações da cor e no grau de floculação de um latossolo vermelho-escuro sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p.197-203. 2001.
- REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; FAGUNDES, M. O.; FEITOSA JÚNIOR, F. R.; SANTOS, J. R. S.; BOGIANI, J. C.; PERINA, F. J. Grau de dispersão, biomassa microbiana e carbono orgânico de um latossolo cultivado com soja sob plantio convencional e direto no Cerrado (savana) do oeste da Bahia, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**. v. 10, n. 1, p. 363-375, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0030>>.
- REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; BRUNKE, R.R.; DRURY, C.F.; TAN, C.S. Comparison of tension infiltrometer, pressure infiltrometer and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**. n. 64, p. 478–484, 2000.
- ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CORREA, M. M.; COSTA, L. M.; PARAHYBA, R. B. V.; GUERRA, S. M. S.; HECK, R. Topolitossequências de solos do alto paranaíba: atributos físicos, químicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1795-1809, 2009.



- SANTOS, A. do C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C dos; BERNINI, T. de A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 4, p. 1297-1314, 2010b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400027>>.
- SANTOS, E. M. S. Desenvolvimento de permeâmetro para determinação da condutividade hidráulica de solos em laboratório; 2020; Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SANTOS, J.C; LEAL, I.R.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; FERNANDES, G.W.; TABARELLI, M. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/194008291100400306>>.
- SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 940-947, 2010a.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 100, 2005.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM/PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios, 2005.
- SHI, Y.; ZHAO, X.; GAO, X.; ZHANG, S.; WU, P. The effects of long-term fertiliser applications on soil organic carbon and hydraulic properties of a loess soil in China: **land degradation & development**. v. 27, p. 60–67, 2016. DOI: 10.1002/ldr.2391.
- SILVA, J. R. L. da.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n.1, p. 27-36, 2012.
- SILVA, M.M.C.; GUIM, A.; PIMENTA FILHO, E.C.; DORNELLAS, G.V.; SOUSA, M.F.; FIGUEIREDO, M.V. Avaliação do padrão de fermentação de silagens elaboradas com espécies forrageiras do estrato herbáceo da Caatinga nordestina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 87-96, 2004.
- SILVA, W. T. DE M.; ALVES, F. J. B.; LEONARDO, F. DE A. P.; SANTOS, R. V. DOS.; JÚNIOR, J. A. DE F. Levantamento da textura do solo e da relação silte/argila em regiões semiáridas do Nordeste. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v.14, n.4, p. 266-272. 2019.
- SOUZA, R. V. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M.M.; ALMEIDA, M. DA C.; CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SCHULZE, S. M. B. B. Caracterização de Solos em uma Topoclimossequência no Maciço de Triunfo – Sertão De Pernambuco. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 1259-1270, 2010.
- SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P. S.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2613-2620, 2008.
- TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. EMBRAPA, Brasília, 3ª edição Revista e ampliada. cap. 12, p. 125-128, 2017.
- TIAN, J.; ZHANG, B.; HE, C. YANG, L. Variability in soil hydraulic conductivity and soil hydrological response under different land covers in the mountainous area of the heihe river watershed, Northwest China. **Land degradation & development**, v. 28, p. 1437–1449, 2017. DOI: 10.1002/ldr.2665.

- TIANA, Z.; KOOLB, D.; RENC, T.; HORTON, R.; HEITMAN, J. L. Determining in-situ unsaturated soil hydraulic conductivity at a fine depth scale with heat pulse and water potential sensors. **Journal of Hydrology**, n. 564, p. 802–810, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.052>>.
- TROVÃO, D.M.B.M.; FERNANDES, P.D.; ANDRADE, L.A.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300010>.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 44, p. 892-898, 1980. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>>.
- VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. EMBRAPA, Brasília. 3ª edição Revista e ampliada, cap. 8, p. 76-81, 2017.
- VIEIRA, M. J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J., coords. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- WANG, T.; ISTANBULLOGLU, E.; WEDIN, D.; HANSON, P. Impacts of revegetation on the temporal evolution of soil saturated hydraulic conductivity in a vegetated sand dune area. **Environ Earth Sci.**, v. 73, p. 7651–7660. 2015. DOI 10.1007/s12665-014-3936-8.
- WANG, Y.; SHAO, M.A.; LIU, Z.; HORTON, R. Regional-scale variation and distribution patterns of soil saturated hydraulic conductivities in surface and subsurface layers in the loessial soils of China. **Journal of Hydrology**, 487, 13–23, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.006>>.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The Nature and Properties of Soils**. 15th Edition, Harlow: Prentice Hall, 2017. 1104p. ISBN-13: 978-0-13-325448-8.
- YAN, J.; BOGIE, N, A.; GHEZZEHEI, T, A. Root uptake under mismatched distributions of water and nutrients in the root zone. **Biogeoscience Discussion**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/bg-2020-109>>.
- YAO, R.J.; YANG, J.S.; WU, D.H.; LI, F.R.; GAO, P.; WANG, X.P. Evaluation of pedo-transfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity in coastal salt-affected mud farmland. **J. Soils Sediments**, v. 15, p. 902–916, 2015. DOI: 10.1007/s11368-014-1055-5
- YIN, X.; GUPTA, V.; DU, H.; WANG, X.; MILLER, J.D. Surface charge and wetting characteristics of layered silicate minerals. **Adv. Colloid Interface Sci.**, v. 179–182, p. 43–50, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cis.2012.06.004>>.
- ZAREBANADKOUKI, M.; AHMED, M. A.; CARMINATI, ANDREA. Hydraulic conductivity of the root-soil interface of lupin in sandy soil after drying and rewetting. 2015. **Plant Soil**, n. 398, p. 267–280. DOI: 10.1007/s11104-015-2668-1.
- ZHAO, C.; SHAO, M.; JIA, XIAOXU.; NASIR, M.; ZHANG C. Using pedotransfer functions to estimate soil hydraulic conductivity in the Loess Plateau of China. **Catena**, n. 143, p. 1-6, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.037>>.